

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV VODNÍCH STAVEB**

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

**IDEOVÝ NÁVRH HRÁZE HORNÍ NÁDRŽE  
PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY**

CONCEPTUAL DESIGN OF UPPER RESERVOIR OF PUMP STORAGE POWER PLANT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Stanislav Kotaška**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. MIROSLAV ŠPANO, Ph.D.**

**BRNO 2017**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodních staveb

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Stanislav Kotaška
<b>Název</b>	Ideový návrh hráze horní nádrže přečerpávací vodní elektrárny
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Miroslav Špano, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2016
<b>Datum odevzdání</b>	26. 5. 2017
V Brně dne 30. 11. 2016	

---

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Boor,B., Kunštátský,J., Patočka,C. (1968) Hydraulika pro vodohospodářské stavby, SNTL Praha.

Broža., V.; Kratochvíl, J.; Peter, P.; Votruba, L. (1987). Přehrady. SNTL/ALFA, Praha, 1987

Podklady k zájmové lokalitě: mapové podklady, digitální model terénu, hydrologické údaje, geologické a geotechnické údaje atd.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Práce bude sestávat z těchto částí:

- 1) Průvodní zpráva
- 2) Výpočty
- 3) Výkresová dokumentace

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Miroslav Špano, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce má za cíl návrh horní nádrže přečerpávací vodní elektrárny lokalizované nedaleko Ústí nad Labem. Hlavním účelem této nádrže je akumulace vyrobené energie a její přerozdělení v čase. Nádrž je navržena v souladu s normou ČSN 752310 - Sypané přehrady. Bakalářská práce se skládá z textové části, hydrotechnických výpočtů a grafických příloh.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Zemní hráz, nádrž, asfaltobetonové těsnění, koruna hráze, sdružený objekt, injekční chodba, Podlešínský potok.

## **ABSTRACT**

The main aim of the bachelor thesis is proposal of the upper water reservoir of the pump-storage plant which is located near the city Ústí nad Labem.

The main purpose of this reservoir is the accumulation of energy produced and its redistribution over time. The reservoir is designed according to ČSN 752310 - Embankment dam. Bachelor thesis consists of text part, hydrotechnical calculations and drawings.

## **KEYWORDS**

Earth-fill dam, reservoir, asphalt concrete lining, dam crest, appurtenant structure, grouting gallery, Podlešín brook.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Stanislav Kotaška *Ideový návrh hráze horní nádrže přečerpávací vodní elektrárny*. Brno, 2017. 55 s., 14 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Miroslav Špano, Ph.D.

# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2017

---

Stanislav Kotaška  
autor práce

## POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

**Vedoucí práce** Ing. Miroslav Špano, Ph.D.

**Autor práce** Stanislav Kotaška

**Škola** Vysoké učení technické v Brně

**Fakulta** Stavební

**Ústav** Ústav vodních staveb

**Studijní obor** 3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby

**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství

**Název práce** Ideový návrh hráze horní nádrže přečerpávací vodní elektrárny

**Název práce v anglickém jazyce** Conceptual design of upper reservoir of pump storage power plant

**Typ práce** Bakalářská práce

**Přidělovaný titul** Bc.

**Jazyk práce** Čeština

**Datový formát** PDF  
**elektronické verze**

**Abstrakt práce** Bakalářská práce má za cíl návrh horní nádrže přečerpávací vodní elektrárny lokalizované nedaleko Ústí nad Labem. Hlavním účelem této nádrže je akumulace vyrobené energie a její přerozdělení v čase. Nádrž je navržena v souladu s normou ČSN 752310 - Sypané přehrady. Bakalářská práce se skládá z textové části, hydrotechnických výpočtů a grafických příloh.

**Abstrakt práce  
v anglickém  
jazyce**

The main aim of the bachelor thesis is proposal of the upper water reservoir of the pump-storage plant which is located near the city Ústí nad Labem.

The main purpose of this reservoir is the accumulation of energy produced and its redistribution over time. The reservoir is designed according to ČSN 752310 - Embankment dam. Bachelor thesis consists of text part, hydrotechnical calculations and drawings.

**Klíčová slova**

Zemní hráz, nádrž, asfaltobetonové těsnění, koruna hráze, sdružený objekt, injekční chodba, Podlešínský potok.

**Klíčová slova  
v anglickém  
jazyce**

Earth-fill dam, reservoir, asphalt concrete lining, dam crest, appurtenant structure, grouting gallery, Podlešín brook.



**Poděkování:**

Tímto děkuji Ing. Miroslavu Španovi, Ph.D. za odborné rady a připomínky, ochotu a čas při vypracování bakalářské práce.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2017

---

Stanislav Kotaška  
autor práce

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>CÍLE .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>ZÁKLADNÍ ÚDAJE O ÚZEMÍ .....</b>	<b>6</b>
3.1	Identifikace území.....	6
3.2	Klimatické údaje .....	7
3.3	Geologické a geomorfologické poměry.....	7
3.4	Hydrogeologické poměry.....	8
3.5	Hydrologické podklady .....	9
<b>4</b>	<b>STAVEBNÍ OBJEKTY.....</b>	<b>10</b>
4.1	Předpokládané členění.....	10
4.2	SO 01 - Hráz č. 1 .....	11
4.2.1	Těleso hráze č. 1.....	11
4.2.2	Těsnění tělesa hráze č. 1.....	11
4.2.3	Injekční chodba a injekční clona .....	13
4.2.4	Koruna tělesa hráze č. 1 .....	13
4.3	SO 02 - Sdružený objekt.....	14
4.3.1	Vtokový objekt.....	14
4.3.2	Odběrné potrubí .....	15
4.3.3	Spodní výpust.....	15
4.3.4	Revizní objekt s uzávěry .....	15
4.3.5	Přístupový objekt s vývarem .....	16
4.4	SO 03 - Hráz č. 2 .....	18
4.4.1	Těleso hráze č. 2.....	18
4.4.2	Těsnění tělesa hráze č. 2.....	18
4.4.3	Injekční bloček.....	19
4.4.4	Koruna tělesa hráze č. 2 .....	20
4.5	SO 04 - Hráz č. 3 .....	21
4.5.1	Těleso hráze č. 3.....	21
4.5.2	Těsnění tělesa hráze č. 3.....	21
4.5.3	Koruna tělesa hráze č. 3 .....	22
4.6	SO 05 – Obslužná komunikace .....	22
4.7	SO 06 – Úprava toku Podlešínského potoka.....	22
<b>5</b>	<b>HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY.....</b>	<b>23</b>
5.1	Stanovení zatopených ploch a zatopených objemů .....	23
5.2	Stanovení přepouštění Průtoku podlešínského potoka pomocí náhradní intenzity dešťů .....	25

5.2.1	Náhradní intenzity dešťů podle Truplova diagramu.....	25
5.2.2	Stanovení průměrného sklonu povodí.....	27
5.2.3	Rychlost postupu vody z povodí .....	27
5.2.4	Doba odtoku T.....	28
5.2.5	Stanovení průtoku $Q_a$ .....	29
<b>5.3</b>	<b>Návrh spodní výpusti.....</b>	<b>30</b>
5.3.1	Měrná křivka spodních výpustí .....	30
<b>5.4</b>	<b>Návrh potrubí přivaděčů.....</b>	<b>33</b>
5.4.1	Posouzení vtoku potrubí přivaděčů na vznik vtokových vírů .....	33
<b>5.5</b>	<b>Návrh potrubí a čerpadla na čerpání průsaků .....</b>	<b>35</b>
5.5.1	Vakuometrická výška .....	35
5.5.1.2	Ztráta TŘENÍM PO DÉLCE .....	35
5.5.1.2	Ztráta místní.....	37
5.5.1.3	Celková Vakuometrická výška .....	37
5.5.1.3	Výpočet do tabulky.....	37
	m .....	38
5.5.2	anometrická výška.....	38
5.5.2.1	Ztráta třením po délce.....	38
5.5.2.2	Ztráta místní.....	38
5.5.2.3	Výpočet do tabulky.....	38
5.5.3	Celková výška .....	39
5.5.4	Návrh čerpadla .....	40
<b>5.6</b>	<b>Výpočet výšky výběhu vlny na svah .....</b>	<b>41</b>
5.6.1	Efektivní délka rozběhu vlny .....	41
5.6.2	Parametry vlny .....	42
5.6.3	Výška výběhu vlny na svah.....	43
5.6.4	Výběh větrové vlny na těleso hráze č.1 .....	45
5.6.5	Výběh větrové vlny na těleso hráze č.2.....	46
5.6.6	Výběh větrové vlny na těleso hráze č.3.....	47
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>49</b>
7.1	Seznam použitých symbolů .....	49
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>51</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>54</b>
<b>11</b>	<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>55</b>
A. 1	PODROBNÁ SITUACE HORNÍ NÁDRŽE	M 1:1000
A. 2	SO 01 PODÉLNÝ ŘEZ INJEKČNÍ CHODBOU	M 1:1000/100
A. 3	SO 01 VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ HRÁZÍ Č.1	M 1:100
A. 4	SO 01 DETAIL KORUNY HRÁZE Č.1	M 1:25

---

A. 5 SO 01 DETAIL LAVIČKY HRÁZE Č.1	M 1:25
A. 6 SO 02 PODÉLNÝ ŘEZ POTRUBÍM PŘIVADĚČE	M 1:100
A. 7 SO 02 PODÉLNÝ ŘEZ SPODNÍ VÝPUSTÍ	M 1:100
A. 8 SO 02 PŮDORYSNÝ ŘEZ SDRUŽENÉHO OBJEKTU	M 1:100
A. 9 SO 02 PŘÍČNÝ ŘEZ CHODBOU SDRUŽENÉHO OBJEKTU	M 1:50
A. 10 SO 03 PODÉLNÝ ŘEZ INJEKČNÍM BLOČKEM	M 1:1000/100
A. 11 SO 03 VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ HRÁZÍ Č.2	M 1:100
A. 12 SO 03 DETAIL KORUNY HRÁZE Č.2	M 1:25
A. 13 SO 04 GEOLOGICKÝ ŘEZ V MÍSTĚ OSY HRÁZE Č. 3	M 1:1000/100
A. 14 SO 04 VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ HRÁZE Č.3	M 1:100

# 1 ÚVOD

Na začátku vzniká otázka: „Proč stavba PVE?“ Protože představuje typ vodní elektrárny, který umožňuje tzv. akumulaci energie. Jde o využití přebytečné energie při malém zatížení elektrické sítě k čerpání vody z dolní nádrže do výše položené horní nádrže. Z horní nádrže naopak v době špičkového zatížení elektrické sítě protéká voda turbínou zpět do dolní nádrže, čímž se zhodnocuje a přerozděluje v čase již jednou vyrobená energie.

Přečerpávací vodní elektrárny jsou prozatím jediným efektivním způsobem jak uchovat větší množství přebytečné elektrické energie po delší dobu.

V dnešní době stoupají nároky a potřeba budování nových PVE s rozvojem a čím dál větším využíváním nestabilních zdrojů energie jako jsou větrná a solární energie se stává aktuální.

V rámci koncepčního návrhu přečerpávací vodní elektrárny Podlešín se předpokládá s dolní a horní nádrží a spádem mezi nádržemi, který činí cca 300 m.

Dolní nádrž reprezentuje stávající zdrž zdymadla Střekov. Pro provoz PVE Podlešín je k dispozici objem, který v součtu objemu vlastní zdrže a Píšťanského jezera činí 4,515 mil. m<sup>3</sup>.

Horní nádrž se nachází východně nad dolní nádrží. Plán počítá se zatopením louky za obcí Podlešín u Stebna a s minimální provozní hladinu 444 m n. m. Využitelný objem od této nadmořské výšky má být 3,5 mil. m<sup>3</sup>

Koncepce předpokládá dvě soustrojí s reverzními turbínami. Průměr přivaděče je navržen ocelový DN 4000 s průtokem 75 m<sup>3</sup>/s na jedno soustrojí.

## 2 CÍLE

Cílem této práce je ideový návrh hráze horní nádrže PVE Podlešín tak, aby bylo možné zadržet 3 – 3,5 mil. m<sup>3</sup> vody v nádrži od minimální zásobní hladiny, která je stanovená na výšce 444 m n. m. Hlavním účelem této nádrže je akumulace vyrobené energie a její přerozdělení v čase.

Tato práce obsahuje návrh tvaru nádrže, vzdouvacích staveb, odběrného objektu spolu se spodní výpustí a analýzu dalších dílčích problémů.

Spodní výpust řeší problém začátku pramene Podlešínského potoka, který pramení v zátopovém území a to jen v období deště, kdy se dešťová voda hromadí na nepropustném podloží a následně vytéká z propustku. Spodní výpust je navržena k přepouštění průtoků Podlešínského potoka za deštivých období.

### 3 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O ÚZEMÍ

#### 3.1 IDENTIFIKACE ÚZEMÍ

Místo pro výstavbu malé vodní nádrže se nachází asi 4 km jižně od centra Ústí nad Labem, na náhorní rovině Českého středohoří v nezastavěném území, za obcí Podlešín u Stebna. Jedná se o mírně ukloněnou louku bez terénních nerovností, umístěnou vedle dopravní komunikace.

Dotčenými pozemky pro stavbu a přístupovou zpevněnou cestu je louka, dopravní komunikace a ostatní plochy, viz obr. 1



Obr. 1 Mapa zájmového území [18]



## 3.2 KLIMATICKÉ ÚDAJE

Zájmová lokalita spadá dle BPEJ do čtvrtého klimatického regionu, který zaujímá největší část Plzeňské pahorkatiny, část Českomoravské vrchoviny západně od Znojma a na Moravě pak jihovýchodní část. Tento region je mírně teplý až suchý s průměrnými ročními teplotami okolo 7 - 8,5°C. Úhrn srážek v těchto oblastech je kolem 450 – 550 mm/rok. [19]

## 3.3 GEOLOGICKÉ A GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY

### Geomorfologická klasifikace:

Provincie: Krušnohorská subprovincie

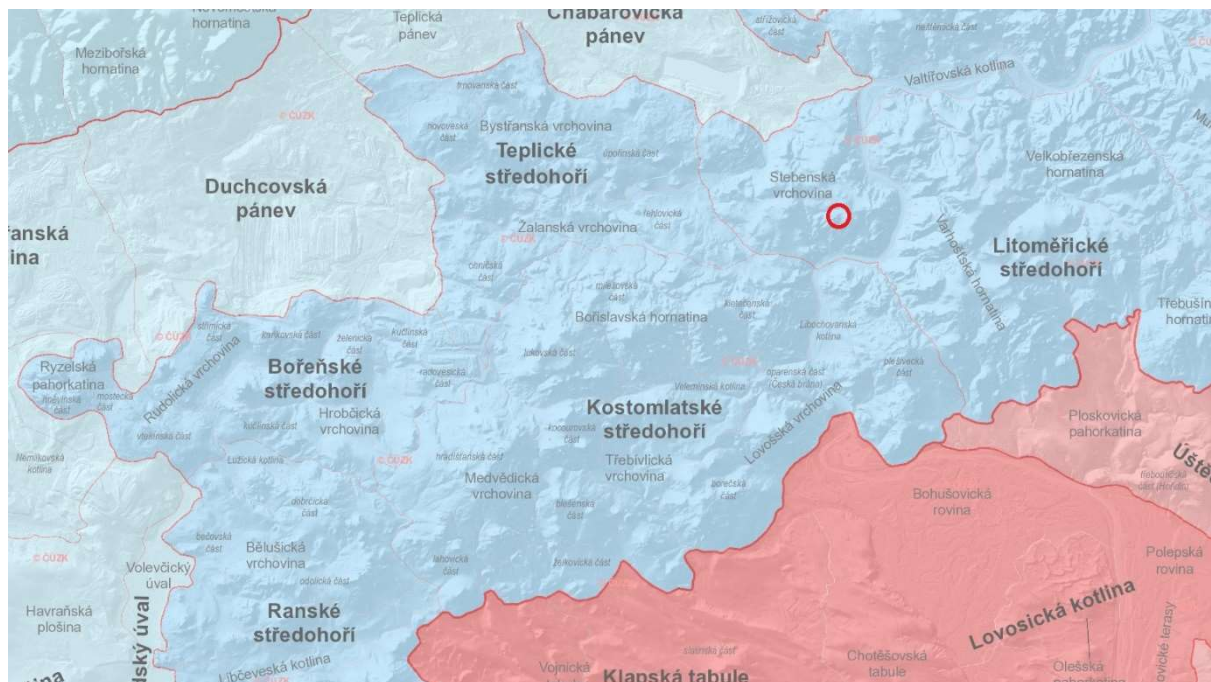
Soustava: Podkrušnohorská oblast

Podsoustava: České středohoří

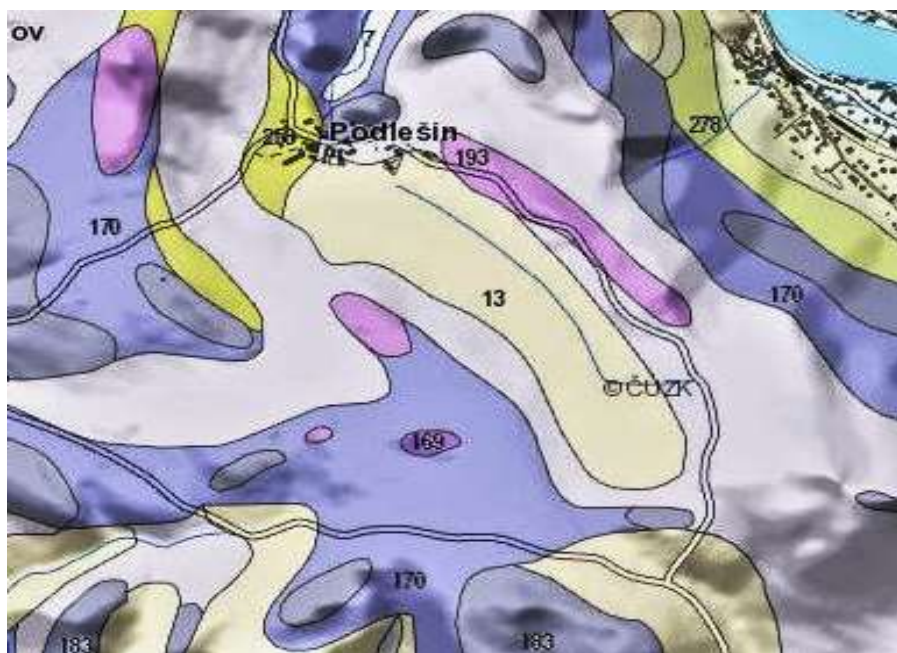
Celek: Litoměřické středohoří

Podcelek: Stebenská vrchovina

Geomorfologicky patří území horní nádrže k celku Český masiv – pokryvné útvary a postvariské magmatity viz obr. 2. Geologicky je území vytvořeno na kamenitých až hlinito-kamenitých sedimentech s úlomky tufitů o mocnosti 2,4 – 7,5 m, přičemž největší vrstvou jsou deluviální sedimenty. Pod touto vrstvou leží pyroklastika bazaltoidních případně trachybazaltických hornin - vrstvy bentonitu a jílovitého či písčitého tufitu střídající se s čedičem celistvým až rozpukaným viz obr. 3. [1]



Obr. 2 Geomorfologická mapa zájmového území



Obr. 3 Geologická mapa zájmového území [1]

**Legenda:**

*Kvartér: 13 – kamenitý až hlinitokamenitý sediment.*

*Třetihory: 193 – nefelinit olivínický – paleogenní vulkanit,*

*252 – pyroklastika bazaltoidních hornin – paleogenní vulkanit. [1]*

### 3.4 HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

V archivních vrtech v prostoru horní nádrže se nenalézají údaje o stavu podzemní vody. Na úpatí neovulkanických těles předpokládáme, že došlo k vytvoření lokálních mělkých obzorů podzemních vod v kvartérních uloženinách. [1]

Vybrané pozemky leží v povodí Podlešínského potoka s číslem hydrologického povodí 1-13-05-021. Vydatnost pramene potoka je přímo závislá na srážkách, neboť se podzemní vody vytváří v suťových zeminách na nepropustném podloží bez další akumulace. [1]

### 3.5 HYDROLOGICKÉ PODKLADY

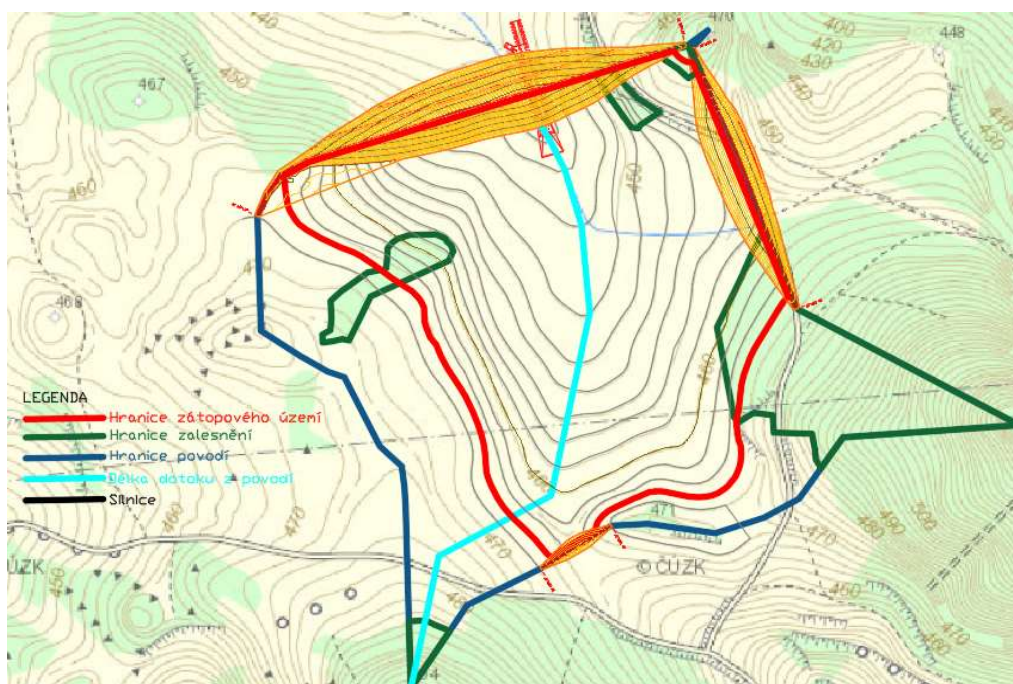
Hydrologické podklady byly zajištěny pro profil podlešínského potoka. Údaje o průtocích byly zjištěny na stránkách statutárního města Ústí nad Labem, který je získal od Českého hydrometeorologického ústavu s pobočkou v Ústí nad Labem. Plocha povodí zátupového území byla stanovena v AutoCADU na základě mapy, do které byla vytyčena, viz obr. 4.

Vybrané pozemky leží v povodí Podlešínského potoka s číslem povodí 1-13-05-021. Podlešínský potok pramení nad vesnicí Podlešín, podle které je pojmenován, ve výšce 420 m n. m. a ústí do Labe jako levostranný přítok v nadmořské výšce 140 m n. m. [16]

Tok	Podlešínský potok
Hydrologické číslo povodí	1-13-05-021
Délka toku	1,495 m
Plocha povodí	0,55 km <sup>2</sup>
Průměrný dlouhodobý roční úhrn srážek	671 mm
Zalesněnost povodí	5,86 %
Průměrný sklon povodí	13,58 %
Průměrný průtok	přímo závislý na srážkách

Tab. 1 N – leté průtoky Podlešínského potoka[16]

N (roky)	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>
Q <sub>N</sub> (m <sup>3</sup> /s)	1,4	2,0	3,2	4,5	5,5	7,5	9,1



Obr.4 Mapa stanoveného povodí a dalších veličin

## **4 STAVEBNÍ OBJEKTY**

### **4.1 PŘEDPOKLÁDANÉ ČLENĚNÍ**

Pro účely této práce bylo zvoleno následující členění stavebních objektů:

- 1) SO 01 - Hráz č. 1
  - Těleso hráze č. 1
  - Těsnění tělesa hráze č. 1
  - Injekční chodba a injekční clona
  - Koruna tělesa hráze č. 1
- 2) SO 02 - Sdružený objekt
  - Vtokový objekt
  - Odběrné potrubí
  - Spodní výpust
  - Revizní objekt s uzávěry
  - Přístupový objekt s vývarem
- 3) SO 03 - Hráz č. 2
  - Těleso hráze č. 2
  - Těsnění tělesa hráze č. 2
  - Injekční bloček
  - Koruna tělesa hráze č. 2
  -
- 4) SO 04 - Hráz č. 3
  - Těleso hráze č. 3
  - Těsnění tělesa hráze č. 3
  - Koruna tělesa hráze č. 3
  -
- 5) SO 05 – Obslužná komunikace
- 6) SO 06 – Úprava toku Podlešínského potoka

## **4.2 SO 01 - HRÁZ Č. 1**

### **4.2.1 TĚLESO HRÁZE Č. 1**

Typ: Zemní homogenní hráz s návodním asfaltobetonovým těsněním

Výška: 27,5 m

Šířka v koruně: 6,7 m

Šířka v patě: 120 m

Sklon návodního svahu: 1:2

Sklon vzdušného svahu: 1:2 – stabilizace pomocí laviček po 10 m

Délka hráze: 722 m

Nadmořská výška koruny hráze: 468,00 m n. m.

Objem násypu: 556 369 m<sup>3</sup>

Těleso hráze je navrženo jako zemní homogenní hráz s návodním asfaltobetonovým těsněním. Tento návrh vychází a odpovídá ČSN 75 2310 Sypané hráze [5]. Stabilizační část hráze bude provedena z hlinitého štěrku špatně zrněného – GM G4 s obsahem jemnozrné frakce od 5 % do 15 %.

Šířka hráze v koruně je 6,7 m a v patě 120 m. Výška hráze je 27,5 m nad nejnižším bodem původního terénu, s kótou koruny 468,00 m n. m. Koruna hráze je pojezdná.

Sklon svahu na návodní i vzdušní straně je 1:2. Svah na vzdušné straně je rozdělen dvěma lavičkami. První lavička na vzdušné straně je na kótě 458 m n. m. se šířkou 3 m ve sklonu 1,5 %. Druhá lavička je o stejné šíři i sklonu a po stejné vzdálenosti tj. 10 m výškových metrů od vrchu a 7,5 m od spodu. Lavička se opatří válcovaným štěrkem tl. 150 mm. Návodní svah je opatřen asfaltobetonovým těsněním a je navázán na injekční chodbu. Vzdušní svah bude ohumusován a oset trávou. Na vzdušní straně paty hráze bude provedena záhozová patka s drenážní trubkou DN 300. Drén se vyústí do vývaru spodních výpustí.

### **4.2.2 TĚSNĚNÍ TĚLESA HRÁZE Č. 1**

Těsnění hráze je navrženo jako návodní asfaltobetonové s dvěma těsnicími vrstvami. Sklon svahu pro ukládání těsnění je 1:2.

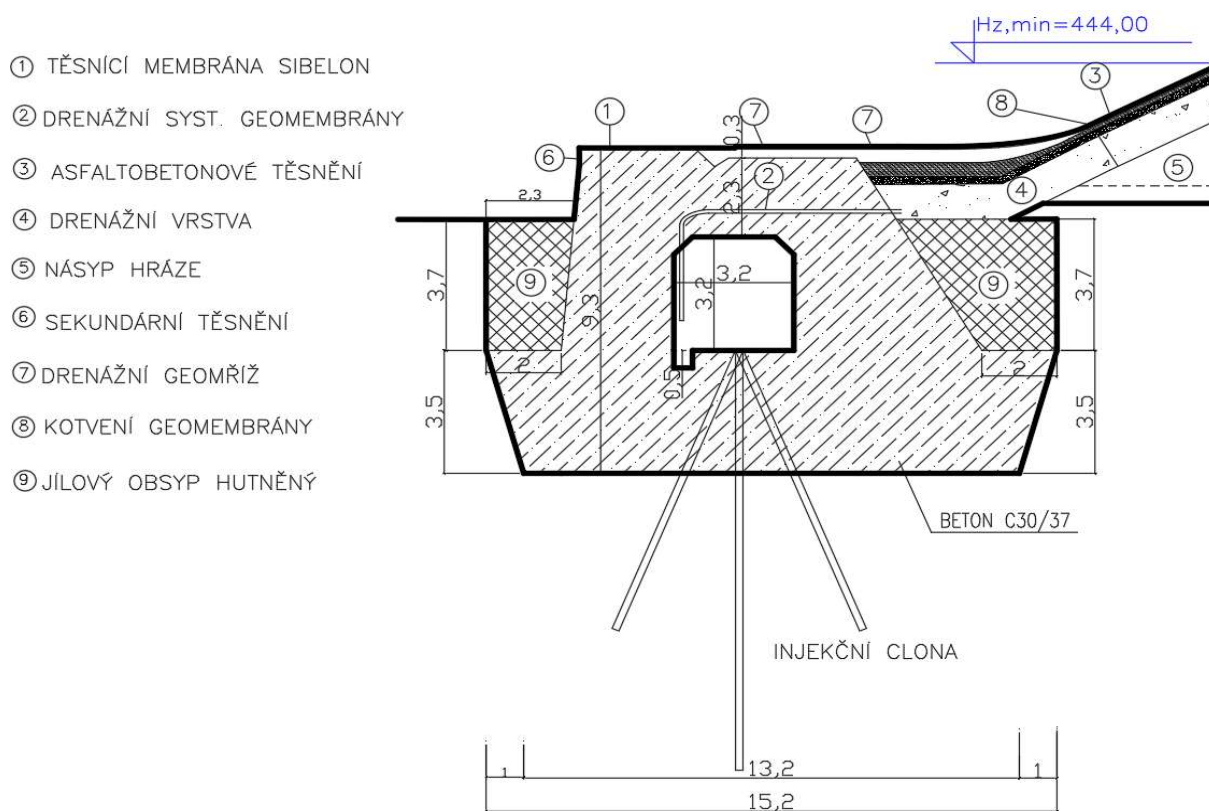
Asfaltobetonové těsnění je řešeno jako jednoplášťové. Návrh vychází z ČSN 75 2020 Asfaltové vrstvy hydrotechnických staveb [4] a dále z příruček pro projektanty od švýcarské firmy WALO [3].



Na zemní těleso hráze na návodní straně se vytvoří 1 m šterkopískové přechodové vrstvy o frakci 2 – 16 mm. Jako vyrovnávací vrstva je navržena šterková s maximálním zrnem 50 – 60 mm dobře zhutněná a urovnaná bez nerovností maximálně do 20 cm, tak aby bylo možné dobře ukládat ložnou vrstvu. První asfaltobetonová vrstva bude ložná ACVL 16 tl. 10 cm s maximální mezerovitostí 10 % až 15 %. Na ni bude nanесena asfaltobetonová vrstva těsnicí ACVT 11 tl. 8 cm s maximální mezerovitostí do 3 %. Jednotlivé vrstvy asfaltobetonového pláště budou nanášeny po spádnicí. Jako finální ochranný prvek těsnění se na povrch nastříká asfaltový mastix o plošné hustotě 3 kg/m<sup>2</sup>. Plocha asfaltobetonového těsnění je cca 19 802 m<sup>2</sup>.

Napojení a ukončení asfaltobetonového těsnění je inspirováno realizací na VD Morávka. Ukončení je navrženo pomocí PVC geomembrány SIBELON CNT, viz obr. 5. Kotvení se provede pomocí patentových profilů z nerezové oceli zakotvené do asfaltového podkladu a následně je napojeno na injekční chodbu. V patě je navrženo dvojité těsnění, aby se maximálně redukovalo riziko vzniku průsaku na styku betonové konstrukce a pláště. [17]

Průsaky jsou svedeny do injekční chodby pomocí potrubí, které je odvádí z drenážní vrstvy návodního těsnění po blocích 10 m. Průsaky jsou zachytávány do bočního kanálku a svedeny do nejnižšího místa. Z kanálku jsou přečerpávány do chodby spodní výpusti a gravitačně odváděny za hráz, odkud se čerpají zpět do nádrže



Obr. 5 Detail napojení PVC geomembrány SIBELON CNT na injekční chodbu

### 4.2.3 INJEKČNÍ CHODBA A INJEKČNÍ CLONA

Injekční chodba je tvořena masivní betonovou konstrukcí kopírující návodní patu hráze. Slouží k provádění injektáže tj. převedení těsnící funkce asfaltobetonového pláště do podloží a zároveň jako revizní objekt pro měření průsaků asfaltobetonovým pláštěm.

Vstup do chodby je realizován přes vstupní objekt na začátku tělesa hráze č. 1. Dále bude chodba propojena 14 schody (šířky 360 mm a výšky 300 mm) se sdruženým objektem. Schodiště je situováno do revizního objektu s uzávěry.

Průchozí rozměr chodby je 3,2 x 3,2 m. Chodba je rozdělena na jednotlivé bloky po 10 m, které jsou navzájem utěsněny dilatačními pásy. V nejnižším místě údolí přechází horní stavba dvou injekčních bloků chodby ve sdružený objekt.

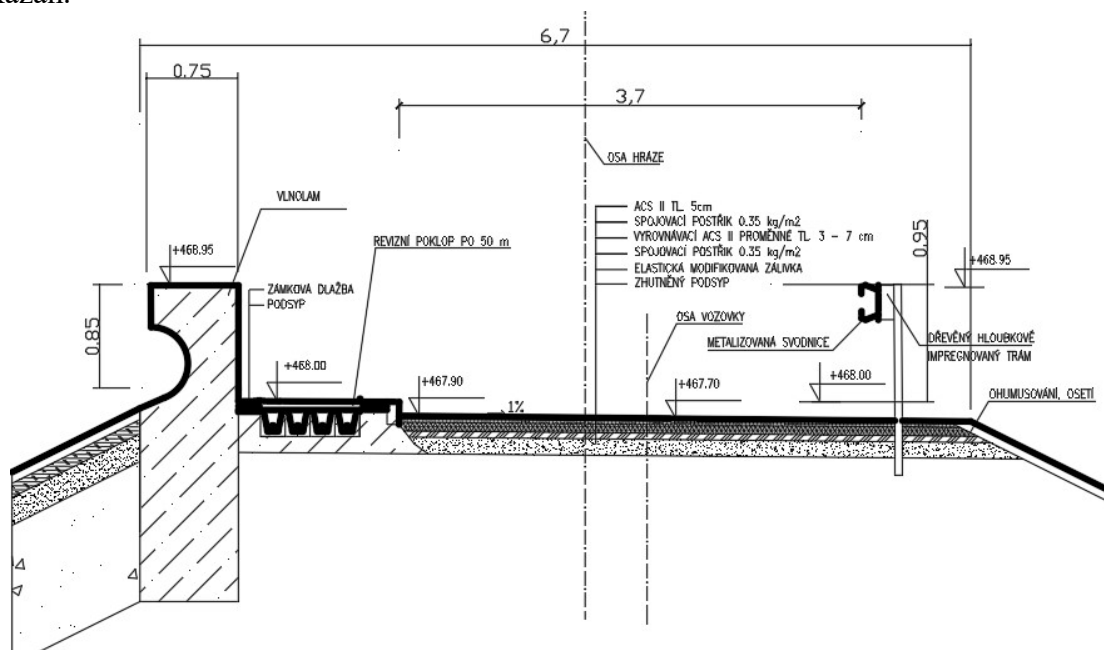
Rozsah injektáže a vzdálenost vrtů se navrhne na základě výsledků podrobného geologického průzkumu.

### 4.2.4 KORUNA TĚLESA HRÁZE Č. 1

Komunikace vedoucí po koruně hráze se napojuje na původní silnici III. třídy vedoucí z obce Podlešín.

Šířka komunikace bude 3,7 m. Po návodní straně povede chodník šířky 1,5 m. Na návodním okraji bude betonový vlnolam š. 0,75 m, který zároveň funguje jako zábradlí. Vzdušný okraj koruny bude opatřen metalizovanou svodnicí výšky 1 m. Chodník i silnice se vyspádují ve sklonu 1 % směrem ke vzdušné straně viz obr. 6.

Komunikace na koruně hráze slouží výhradně pro potřeby údržby a obsluhy vodního díla a bude tedy označena jako účelová komunikace. Vjezd na korunu hlavní hráze bude pro veřejnost zakázán.



Obr. 6 Detail A koruna tělesa hráze č. 1

### 4.3 SO 02 - SDRUŽENÝ OBJEKT

Sdružený objekt je navržen jako ponořený. Objekt sestává z vtokového objektu, potrubí přiváděčů na vodní elektrárnu, spodní výpusti, revizního objektu a z přístupového objektu s uzavěry. Objekt je situovaný u návodní paty v nejnižším bodě údolí a provázaný s dvěma bloky injekční chodby a dále pokračuje tělesem hráze, jako chodba spodní výpusti a odběrného potrubí, a je ukončen u vzdušní paty hráze přístupovým objektem a výtokem s vývarem.

Pro kontrolní revize potrubí, uzavěrů a objektů je sdružený objekt přístupný ze spodu schody z injekční chodby a dále přes vstupní objekt u vzdušní paty hráze, ze kterého se lze dostat do chodby spodní výpusti, a odběrného potrubí ze vzdušní paty hráze, viz obr. 8.

Výškové uspořádání sdruženého objektu je navrženo s ohledem na vznik vtokových vírů. Kóta minimální provozní hladiny je 444,00 m n. m. Návrhový průtok na jednu turbínu je 75 m<sup>3</sup>/s, s průměrem přiváděče 4000 mm.

Orientační výpočet dle Holaty [2]:  $Sp = 0,46 \cdot v \cdot D^{0,5} = 0,46 \cdot 5,97 \cdot 4^{0,5} = 5,49 \text{ m}$

Sp - minimální výška zatopení stropu vtoku do potrubí

Když k této výšce přičteme průměr přiváděče a následně odečteme od minimální provozní hladiny tak vychází, že dno sdruženého objektu musí být minimálně na výškové kótě 434,51 m n. m.

#### 4.3.1 VTOKOVÝ OBJEKT

Účelem vtokového objektu je přivádět vodu z nádrže a zamezit vniknutí splavenin, nebo jiných předmětů do přiváděče a spodní výpusti.

Vtoková část je tvořena železobetonovým nátokem šířky 35 m přecházející na obdélníkový profil se vstupními rozměry 22,5 m x 6,4 m. Základová deska vtokového objektu začíná vtokovým prahem na výškové kótě 441,00 m n. m. Za prahem přechází přes zborcenou plochu ve sklonu 1:3,4 na výškovou kótu 432,30 m n. m.

Vtok je opatřen drážkami s provizorního hrazení a následně rámem s hrubými česlemi. Za česlemi přechází obdélníkový profil vtokového objektu na 2 kruhové profily přiváděčů v odběrném objektu o rozměrech 5100 mm a dále na jeden kruhový profil o rozměru 510 mm.

Vtokový objekt je přístupný z venku panelovou cestou po svahu nádrže. Cesta je navržena ve sklonu do 1:8. Tento přístup je funkční pouze po úplném vypuštění nádrže.



### 4.3.2 ODBĚRNÉ POTRUBÍ

Odběrné potrubí navazuje na vtokový objekt vtokovým kusem tlakového potrubí podle Lískovce DN 5100 a dále pokračuje potrubím DN 4000, viz obr. 7. Odběrné potrubí prochází revizním objektem s uzávěry, kde jsou na každém potrubí instalovány 2 klapkové uzávěry, a následně pokračuje v chodbě do vstupního objektu a dále štolou do místa plánované elektrárny.

Odběrné potrubí je ocelové s vnitřním průměrem 4 m. Potrubí je instalováno na ocelových bločcích výšky 0,5 m od podlahy, které jsou od sebe osově vzdáleny 5 m. Dále jsou na potrubí instalovány revizní vstupy DN 1000, aby bylo možné provádět vnitřní kontroly a opravy potrubí přivaděčů.

### 4.3.3 SPODNÍ VÝPUST

Spodní výpust navazuje na vtokový objekt vtokovým kusem tlakového potrubí podle Lískovce DN 510 a dále pokračuje potrubím DN 400. Odběrný objekt prochází revizním objektem, v kterém jsou na potrubí osazeny 2 šoupátkové uzávěry. Potrubí spodní výpusti následně prochází tělesem hráze a pokračuje do přístupového objektu, kde je vyústěna do vývaru spodní výpusti. Na konci je výpust opatřena rozstřikovacím uzávěrem s usměrňovačem proudu.

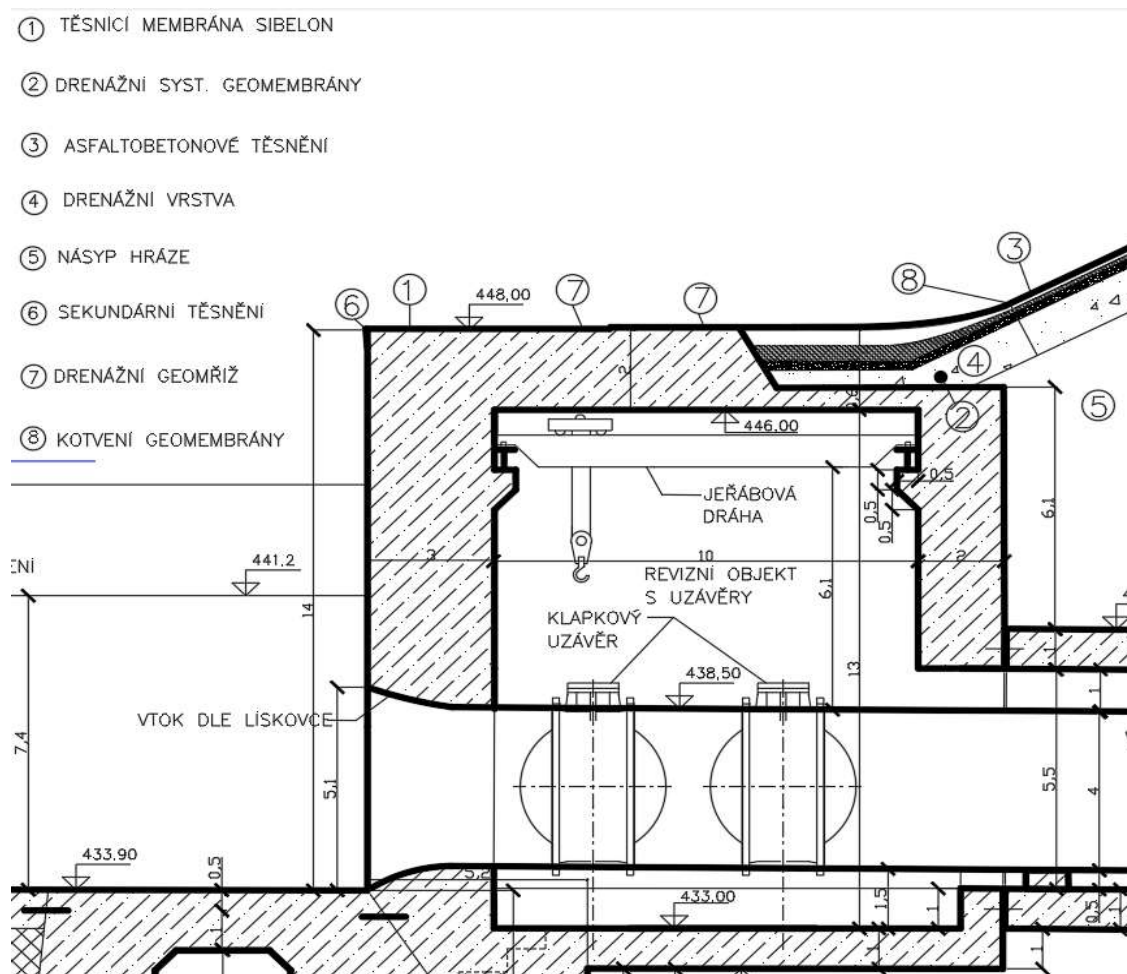
Potrubí spodní výpusti je ocelové s průměrem 0,4 m. Potrubí je instalováno na ocelových bločcích výšky 0,5 m nad podlahou, které jsou od sebe osově vzdáleny 5 m.

### 4.3.4 REVIZNÍ OBJEKT S UZÁVĚRY

Ponořený objekt ležící u návodní paty v nejnižším místě terénu, plynule navazuje na objekt vtokový. V revizním objektu jsou uloženy uzávěry odběrného potrubí a spodní výpusti. Objekt je určený pro revizi a případnou výměnu uzávěrů, pro zachycení provozního oleje a odkapů z uzávěrů a pro sledování průsaků těsněním.

Půdorysně má objekt tvar obdélníku o rozměrech 25 m x 15m a výšku 14 m. Tloušťka přední stěny je 3000 mm a zbylé boční stěny jsou tl. 2000 mm. Strop revizního objektu je plochý tl. 2000 mm s atypickým zúžením na tl. 600 mm. Do stropu je ukončeno asfaltobetonové těsnění, pomocí systému geomembrány SIBELON CNT, tak jako do injekční chodby a bločku, viz obr. 7.

Podlaha objektu je rozdělena do dvou výškových úrovní, které mezi sebou spojují žebříky s lávkou. V revizním objektu je nainstalována jeřábová dráha, která bude pojízdná v obou směrech, s nosností 50 t.



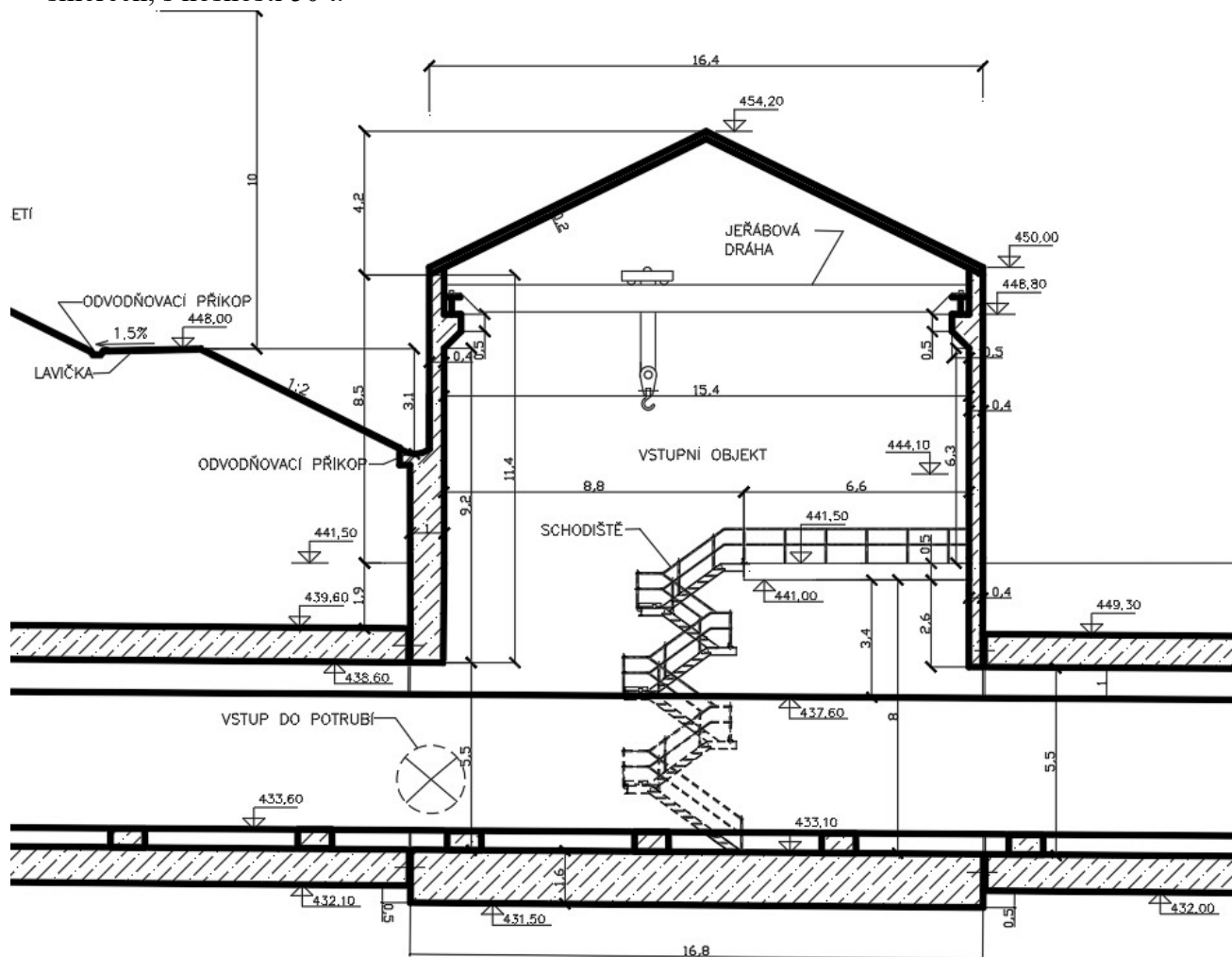
Obr. 7 Detail napojení PVC geomembrány SIBELON CNT na revizní objekt s uzávěří

#### 4.3.5 PŘÍSTUPOVÝ OBJEKT S VÝVAREM

Přístupový objekt slouží pro vstup do chodby spodních výpustí a odběrného objektu a zároveň pro případnou výměnu potrubí a uzávěrů. Dále slouží k přepouštění Podlešínského potoka jelikož potok pramení v zátopovém území. Objekt sdružuje chodbu odběrného potrubí a spodní výpusti, viz obr. 8.

Přístupový objekt se nachází u vzdušní paty hráze. Půdorysně má tvar obdélníku o rozměrech 22,5 m x 16,8 m. Celá konstrukce je monolitická z železobetonu. Střecha je z dřevěného krovu a to sedlová. Podlaha objektu je rozdělena do dvou výškových úrovní, které mezi sebou spojují schodiště s železobetonovou deskou. S ohledem na hmotnost potrubí a uzávěrů musí být betonová konstrukce a deska v přístupovém objektu správně vyztužena. Součástí přístupového objektu je vývar spodní výpusti z prostého betonu. Objekt je od chodeb a vývaru oddělen dilatačními spárami.

V přístupovém objektu je nainstalována jeřábová dráha, která bude pojízdná v obou směrech, s nosností 50 t.



Obr. 8 Příčný řez přístupovým objektem v místě odběrného potrubí

## **4.4 SO 03 - HRÁZ Č. 2**

### **4.4.1 TĚLESO HRÁZE Č. 2**

Typ: Zemní homogenní hráz s návodním asfaltobetonovým těsněním

Výška: 11 m

Šířka v koruně: 9,2 m

Šířka v patě: 54 m

Sklon návodního svahu: 1:2

Sklon vzdušného svahu: 1:2

Délka hráze: 433 m

Nadmořská výška koruny hráze: 468 m n. m.

Objem násypu: 86 184 m<sup>3</sup>

Plocha těsnění: 7286 m<sup>2</sup>

Těleso hráze je navrženo jako zemní homogenní hráz s návodním asfaltobetonovým těsněním. Tento návrh vychází z ČSN 75 2310 Sypané hráze [5]. Stabilizační část hráze bude provedena z hlinitého štěrku špatně zrněného – GM. G4 s obsahem jemnozrné frakce od 5 % do 15 %. Terén, pro stavbu tělesa hráze, bude opatřen šterkopískovým drenážním kobercem frakce 8 - 16 mm tl. 1 m, který bude převádět případné průsaky na napojení a ukončení asfaltobetonového těsnění. Na stabilizační části bude 0,3 m aktivní zóny roznášející zatížení od vozidel, jelikož přes korunu povede silnice III třídy.

Šířka hráze v koruně je 9,2 m a v patě 54 m. Výška hráze je 11 m nad nejnižším bodem původního terénu, s kótou koruny 468,00 m n. m. Koruna hráze je pojízdná.

Návodní líc je opatřen asfaltobetonovým těsněním a je navázán na injekční bloček. Sklon svahu na návodní straně 1:2. Svah na vzdušné straně je ve sklonu 1:2. Vzdušná strana hráze bude ohumusována a oseta. Po celé délce vzdušní paty hráze se vytvoří záhozová patka z lomového kamene.

### **4.4.2 TĚSNĚNÍ TĚLESA HRÁZE Č. 2**

Těsnění hráze je navrženo jako návodní asfaltobetonové s dvěma vrstvami. Sklon svahu pro ukládání těsnění je 1:2.

Skladba asfaltobetonového těsnění je řešena jako jednoplášťová. Návrh vychází z ČSN 75 2020 Asfaltové vrstvy hydrotechnických staveb [4] a dále z příruček pro projektanty od švýcarské firmy WALO [3].

Na zemní těleso hráze na návodní straně se vytvoří 1 m šterkopískové přechodové vrstvy o frakci 2 – 16 mm. Jako vyrovnávací vrstva je navržena šterková s maximálním zrnem 50 – 60 mm dobře zhutněná a urovnaná bez nerovností maximálně do 20 cm, tak aby bylo možné dobře ukládat ložnou vrstvu. První asfaltobetonová vrstva bude ložná ACVL 16 tl. 10 cm s maximální mezerovitostí 10 % až 15 %. Jako druhá bude uložena asfaltobetonová vrstva těsnící ACVT 11 tl. 8 cm s maximální mezerovitostí do 3 %. Jednotlivé vrstvy asfaltobetonového pláště budou nanášeny po spádnicí. Jako finální ochranný prvek těsnění se na povrch nastříká asfaltový mastix o plošné hustotě 3 kg/m<sup>2</sup>. Plocha asfaltobetonového těsnění je cca 7 286 m<sup>2</sup>.

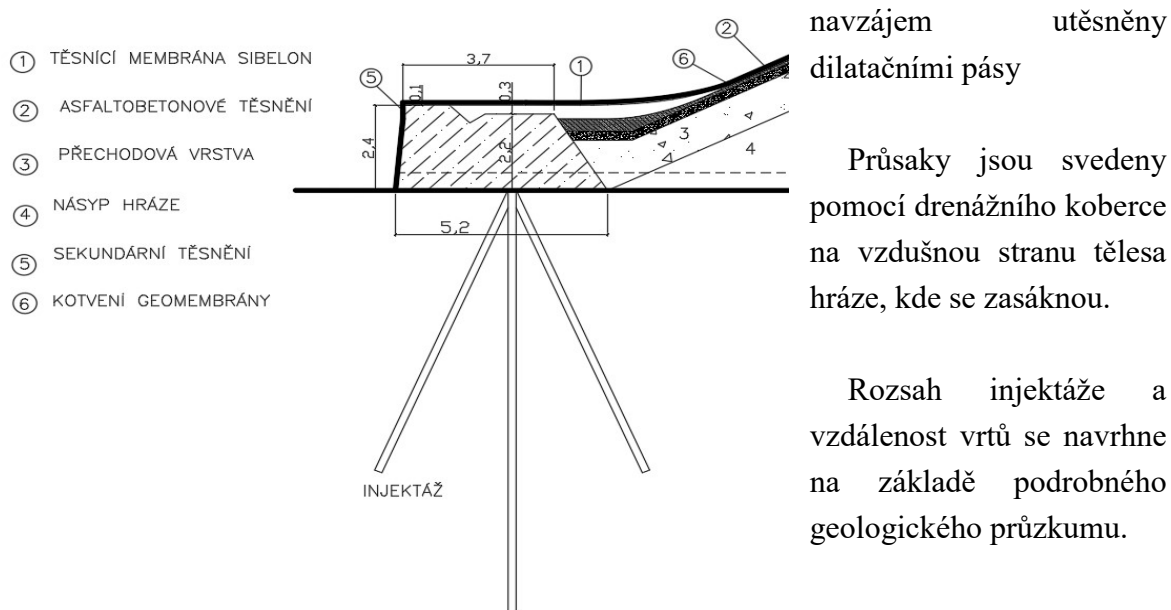
Napojení a ukončení asfaltobetonového těsnění je inspirováno realizací na VD Morávka. Ukončení je navrženo pomocí PVC geomembrány SIBELON CNT. Kotvení se provede pomocí patentových profilů z nerezové oceli zakotvené do asfaltového podkladu. V patě je vytvořeno dvojného těsnění, aby se zabránilo průsaku betonovými konstrukcemi pod plášť. Těsnění je napojeno na injekční bloček. [17]

Průsaky jsou svedeny pomocí drenážního koberce ze šterku frakce 8 – 16 mm tl. 1 m na vzdušnou stranu tělesa hráze do záhozové patky z lomového kamene, kde se nechá zasáknout.

#### 4.4.3 INJEKČNÍ BLOČEK

Injekční bloček, betonová konstrukce kopírující návodní patu hráze. Slouží k provádění injektáže tj. převedení těsnící funkce asfaltobetonového pláště do nepropustného podloží.

Tvar injekčního bločku je lichoběžník („nepravidelný obdélník“) viz obr. 9. Jeho maximální rozměr je h x b je 2,4 x 5,2 m. Bloček je rozdělen na jednotlivé bloky po 10 m, které jsou

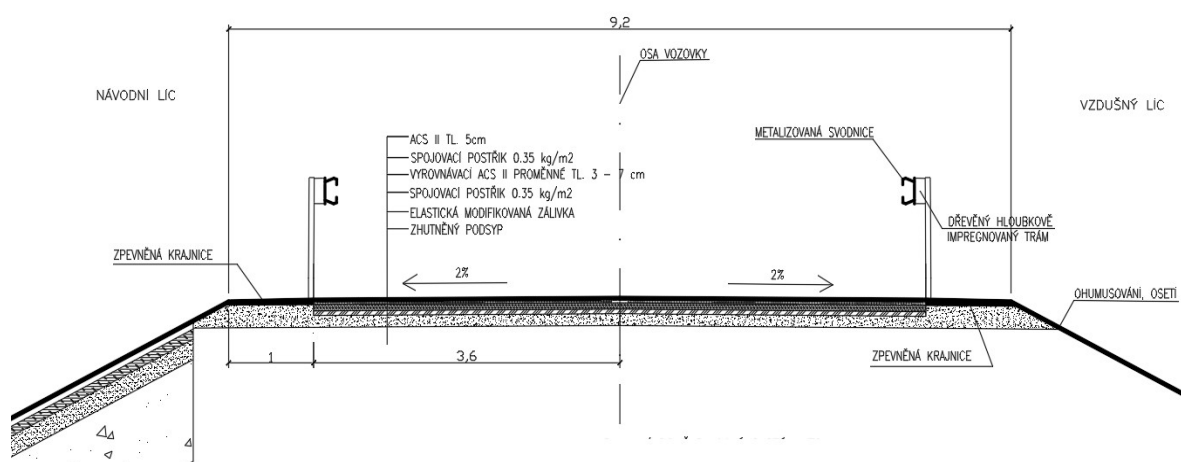


Obr. 9 Detail napojení PVC geomembrány SIBELON CNT na injekční bloček

#### 4.4.4 KORUNA TĚLESA HRÁZE Č. 2

Po koruně hráze vede komunikace, která navazuje na původní silnici III. třídy vedoucí z obce Podlešín. Komunikace slouží výhradně pro veřejnou dopravu.

Šířka jednoho pruhu je 3,5 m. Na návodní i vzdušné straně leží zpevněná a nezpevněná krajnice celkové šířky 2 m. Na návodním i vzdušném okraji koruny je ocelové zábradlí šířky 0,1 m, výšky 1,5 m. Sklon silnice je 2 % směrem k návodní i vzdušní patě. Tato komunikace je vybavena technickými prvky a dalšími opatřeními tak, aby byla přístupná pro veřejnost, viz obr. 10.



Obr. 10 Detail C koruna tělesa hráze č.2

## **4.5 SO 04 - HRÁZ Č. 3**

### **4.5.1 TĚLESO HRÁZE Č. 3**

Typ: Zemní sypaná hráz s návodním kamenným těsněním

Výška: 4 m

Šířka v koruně: 4 m

Šířka v patě: 24 m

Sklon návodního svahu: 1:3

Sklon vzdušného svahu: 1:2

Délka hráze: 273 m

Nadmořská výška koruny hráze: 468 m n. m.

Objem násypu: 4200 m<sup>3</sup>

Plocha těsnění: 1035 m<sup>2</sup>

Zemní těleso hráze je navrženo jako zemní homogenní hráz s návodním kamenným opevněním. Tento návrh vychází a odpovídá ČSN 75 2310 Sypané hráze [5]. Stabilizační část hráze bude z větší části provedena ze štěrku hlinitého GM G4 s obsahem jemnozrnné frakce od 5 % do 15 %.

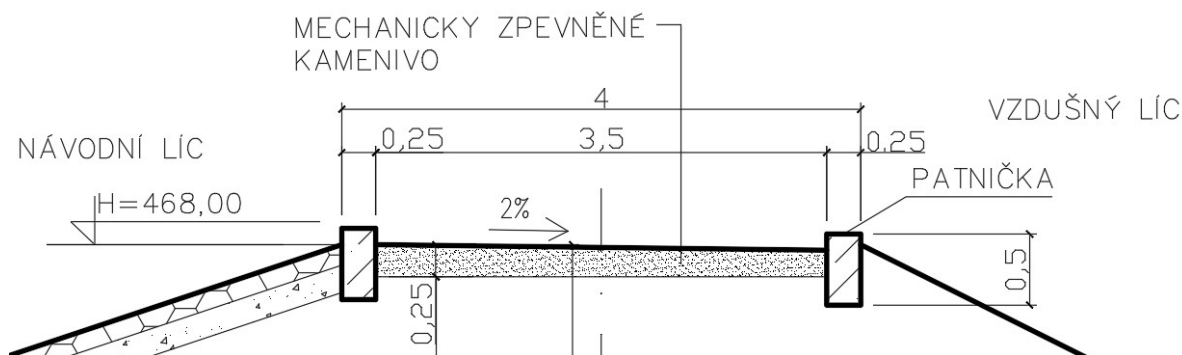
Šířka hráze v koruně je 4 m a v patě 24 m. Výška hráze je 4 m nad nejnižším bodem původního terénu, s kótou koruny 468,00 m n. m. Návodní líc je opatřen kamenným opevněním, které je ukončeno kamenným pohozem po celé délce hráze. Ukončení návodního svahu je pomocí kamenné patky v kombinaci s předsazeným kobercem. Sklon svahu na návodní straně 1:3. Svah na vzdušné straně je ve sklonu 1:2. Na vzdušné straně paty hráze bude proveden příkop hloubky 2 m pro zachycení a odvedení případných průsaků.

### **4.5.2 TĚSNĚNÍ TĚLESA HRÁZE Č. 3**

Hráz je řešena jako homogenní s návodním kamenným opevněním. Sklon návodního svahu je navržen 1:3. Na zemní těleso hráze na návodní straně se pod kamenné opevnění vytvoří 0,2 m štěrkopískové přechodové vrstvy frakce 2 – 16 mm. Opevnění bude z kamenné rovinaniny. Opevnění kamennou rovinaninou je založeno na kamenné záhozové patce.

### 4.5.3 KORUNA TĚLESA HRÁZE Č. 3

Po koruně hráze nevede trvalá komunikace. Šířka koruny hráze jsou 4 m. Pro občasný pojezd pro údržbu a obsluhu bude koruna opatřena mechanicky zpevněným kamenivem tl. 0,25 m uloženém mezi betonové patničky viz obr. 11. Koruna tělesa bude přístupná pouze pro obsluhu.



Obr. 11 Detail koruny tělesa hráze č.3

### 4.6 SO 05 – OBSLUŽNÁ KOMUNIKACE

Z důvodu přístupu mechanizace k údržbě sdruženého objektu a potrubí bude vybudována obslužná komunikace. Komunikace povede na dně nádrže podél návodní paty 2. hráze a dále bude stočena obloukem směrem ke sdruženému objektu. Komunikace bude přístupná pouze po úplném vypuštění nádrže. Délka sjezdu bude 375 m. Navržena je panelová vozovka šířky 4 m s podélným sklonem do 8 %. Na konci komunikace bude vybudováno obratiště pro otočení mechanizace.

### 4.7 SO 06 – ÚPRAVA TOKU PODLEŠÍNSKÉHO POTOKA

Pod hrází bude vybudováno odpadní koryto, které překonává výškový rozdíl mezi prahem vývaru a původním korytem Podlešínského potoka. Délka upraveného toku bude cca 40 m. Koryto bude přímé lichoběžníkové a navazuje na původní koryto Podlešínského potoka. Dno bude šterkové a břehy koryta budou ohumusovány a osety.



## 5 HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

### 5.1 STANOVENÍ ZÁTOPENÝCH PLOCH A ZÁTOPENÝCH OBJEMŮ

Důležitým prvkem pro návrh tělesa hráze a funkčních objektů byly charakteristické křivky nádrže, tedy batygrafické křivky. Tyto křivky byly určeny z pozice hráze na okolním terénu. Pro návrh byla použita čára zatopených objemů nádrže a čára zatopených ploch nádrže.

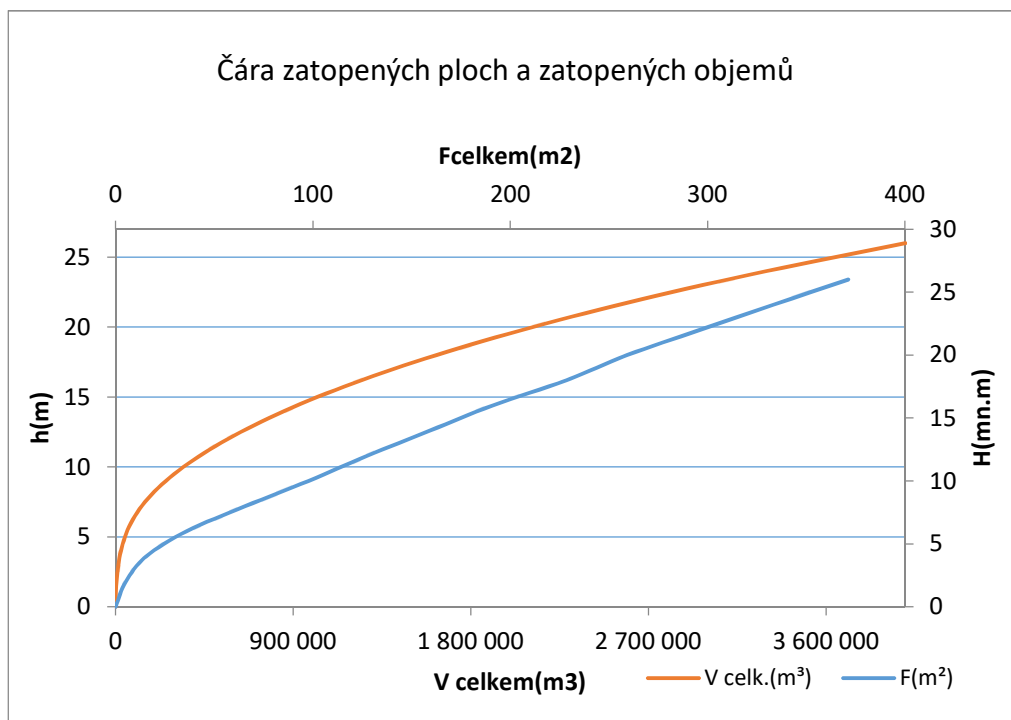
Čára zatopených objemů nádrže vychází z výšky plnění nádrže a příslušným objemem. Čára zatopených ploch vychází z výšky plnění nádrže a příslušnou plochou hladiny.

Tab. 2 Stanovení zatopených ploch a zatopených objemů

1	2	3	6	7
h(m)	H(m.n.m)	F(m <sup>2</sup> )	ΔV(m <sup>3</sup> )	V celk.(m <sup>3</sup> )
0	439.5	0	0	0
2	442	5 207	6 509	6 509
4	444	15 389	20 596	27 105
6	446	35 934	51 323	78 428
8	448	65 768	101 702	180 130
10	450	97 759	163 527	343 657
12	452	127 506	225 265	568 922
14	454	159 341	286 847	855 769
16	456	191 129	350 470	1 206 239
18	458	228 478	419 607	1 625 846
20	460	259 279	487 757	2 113 603
22	462	296 106	555 385	2 668 988
24	464	333 399	629 505	3 298 493
26	466	371 286	704 685	4 003 178

Koruna hráze byla navržena 2 m nad maximální zásobní hladinou. Koruna je tedy na výšce 468,00 m n. m. S ohledem na zatopení vtoku je maximální retenční objem v nádrži 3 976 073m<sup>3</sup> vody.

Čára zatopených objemů a zatopených ploch nádrže je znázorněna v grafu obr. 12.



Obr. 12 Čára zatopených ploch a čára zatopených objemů

## 5.2 STANOVENÍ PŘEPOUŠTĚNÍ PRŮTOKU PODLEŠÍNSKÉHO POTOKA POMOCÍ NÁHRADNÍ INTENZITY DEŠŤŮ

Podlešínský potok pramení v zátopovém území, a to akumulací dešťových vod na nepropustném podloží. Výpočet průtoku vody pramene, který je nutný za deštivých obdobíh přepouštět, je vypočten pomocí náhradních intenzit dešťů Ing. J. Trupla [13].

### 5.2.1 NÁHRADNÍ INTENZITY DEŠŤŮ PODLE TRUPLOVA DIAGRAMU

Intenzita srážek byla převzata z tabulek Intenzity dešťů podle Ing. J. Trupla [13] pro nejbližší srážkoměrnou stanici, která leží v Roudnici nad Labem, asi 27 km od Podlešína.

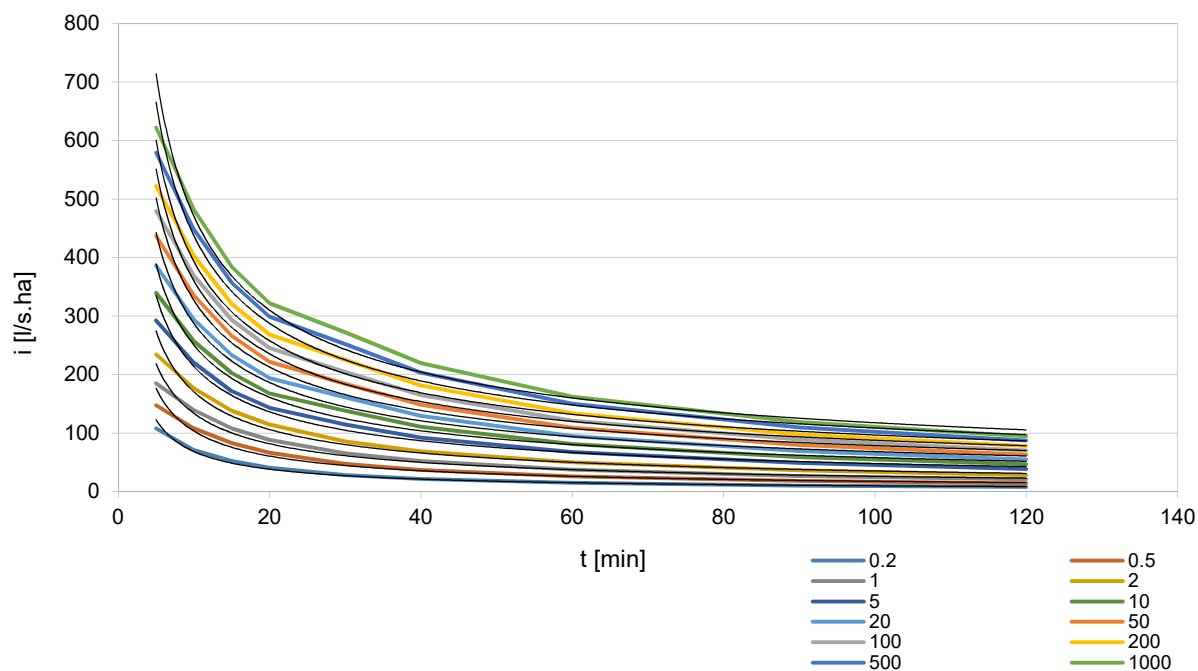
Tab. 3 Vydatnosti náhradního blokového deště (podle Ing. J. Trupla) [13]

délka trvání	intenzita deště v l/s*ha při periodicitě n						
deště v mm	5	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05
5	112	153	192	243	303	352	400
10	73.5	112	144	183	228	266	305
15	54.1	85.6	112	143	178	210	242
20	42.1	69	91.6	119	148	174	201
30	29.2	49	67.9	88.9	119	143	167
40	22.5	38.3	54.1	71.3	95.7	115	134
60	15.5	26.8	39	52.1	70	84.1	98.3
90	10.7	18.7	27.7	37.4	50.7	61.1	71.7
120	8.3	14.5	21.5	29.3	40	48.5	57

Tab. 4 Přepočet vydatnosti náhradního blokového deště

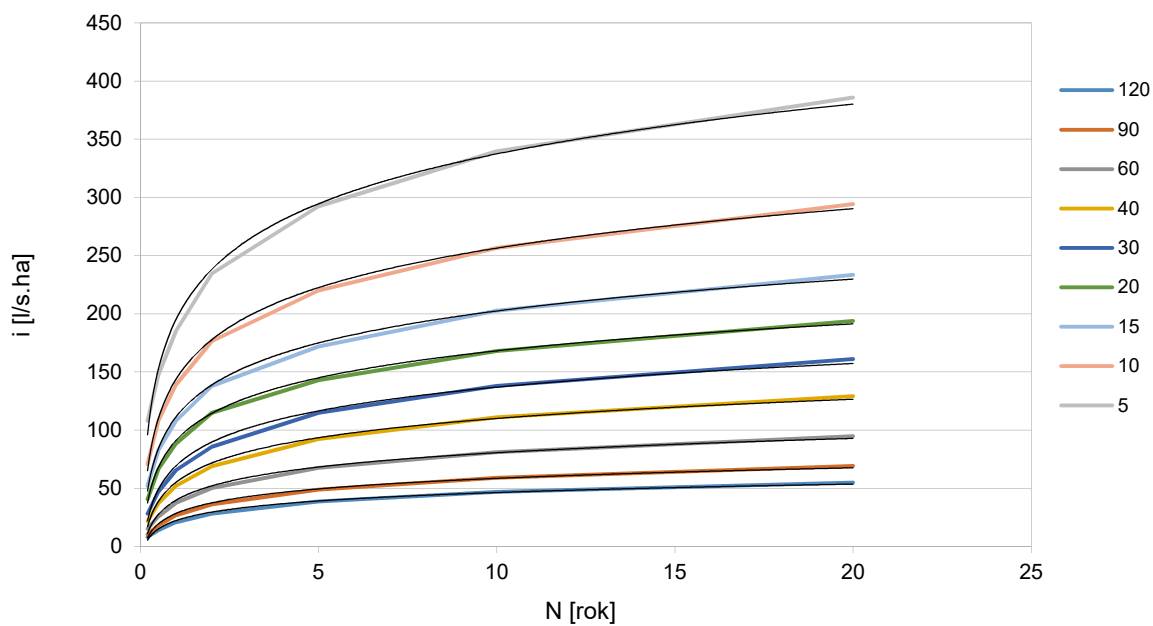
délka trvání	intenzita deště v l/s*ha při periodicitě n											
deště v min	5	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
N	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
5	108.07	147.63	185.26	234.47	292.37	339.65	385.96	436.79	479.60	522.41	579.00	621.81
10	70.93	108.08	138.96	176.60	220.02	256.69	294.33	335.08	368.97	402.86	447.67	481.56
15	52.21	82.60	108.08	138.00	171.77	202.65	233.53	265.98	293.38	320.78	357.00	384.40
20	40.63	66.59	88.39	114.84	142.82	167.91	193.97	221.95	245.13	268.30	298.94	322.12
30	28.18	47.29	65.52	85.79	114.84	138.00	161.16	184.17	204.51	224.86	251.76	272.11
40	21.71	36.96	52.21	68.80	92.35	110.98	129.31	148.36	164.87	181.38	203.21	219.73
60	14.96	25.86	37.64	50.28	67.55	81.16	94.86	109.11	121.40	133.68	149.92	162.21
90	10.33	18.05	26.73	36.09	48.93	58.96	69.19	79.60	88.66	97.73	109.72	118.78
120	8.01	13.99	20.75	28.27	38.60	46.80	55.01	63.21	70.47	77.72	87.30	94.55

### Čáry náhradních intenzit dešťů



Obr. 13 Čára náhradních intenzit dešťů

### Intenzita deště v závislosti na opakování



Obr. 14 Intenzita deště v závislosti na opakování

### 5.2.2 STANOVENÍ PRŮMĚRNÉHO SKLONU POVODÍ

Pro stanovení průměrného sklonu povodí se musí stanovit hranice povodí, následně plocha povodí a odečíst nejmenší a nejvyšší nadmořskou výšku daného povodí.

Nejvyšší nadmořská výška v povodí  $h_{\max} = 541$  m n. m.

Nejnižší nadmořská výška v povodí  $h_{\min} = 440$  m n. m.

Plocha povodí  $P = 552\,852$  m<sup>2</sup>

Vypočet průměrného sklonu povodí i:

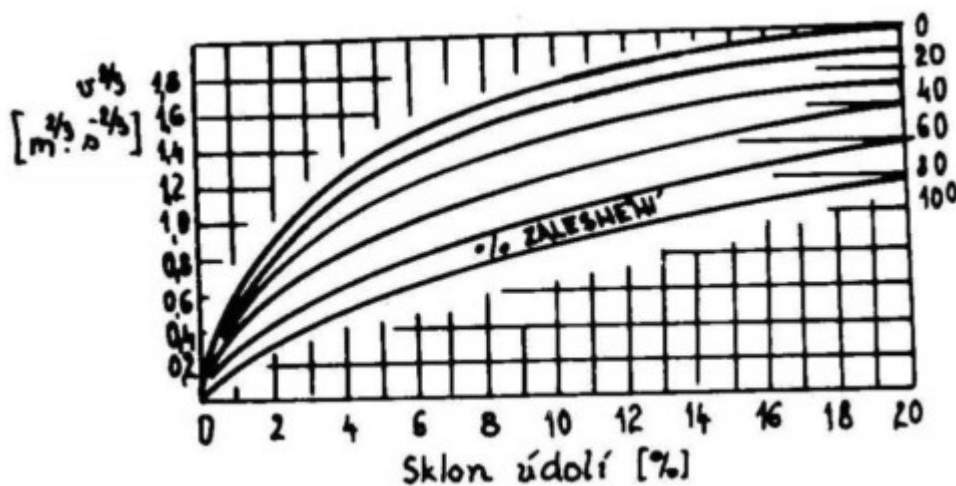
$$i = \frac{\Delta h}{\sqrt{P}} [\%] \quad (5.1)$$

$$i = \frac{(541 - 440)}{\sqrt{552\,852}} * 100 = 13,58 [\%]$$

kde P je plocha povodí [m<sup>2</sup>],  $\Delta h$  je rozdíl nejvyšší a nejnižší nadmořské výšky v povodí [m]

### 5.2.3 RYCHLOST POSTUPU VODY Z POVODÍ

Rychlost postupu vody z povodí závisí na průměrném sklonu povodí a míru zalesnění území. Pro zjištění plochy zalesnění, jsem si musel stanovit hranice zalesnění a následně zjistit procenta zalesnění k celkovému povodí. Rychlost postupu vody byla odečtena z grafu v závislosti střední rychlosti postupu vody, sklonu údolí a zalesněnosti dle Čerkašina viz obr. 15.



Obr. 15 Graf závislosti střední rychlosti postupu vody v toku, sklonu a zalesněnosti dle Čerkašina

Plocha zalesnění  $P_L = 142\,994$  m<sup>2</sup>

Zalesněnost  $K_L = 25,86$  %

Střední rychlost postupu vody  $v_s = 1,7$  m/s

### 5.2.4 DOBA ODTOKU T

Pro stanovení délky odtoku se musí stanovit hranice povodí, následně stanovit nejdelší bod v povodí k uzávěrovému profilu a odečíst délku.

Délka odtoku:  $L = 1371$  m

Výpočet návrhové doby trvání deště dle Čerkašina [9]:

$$T = \frac{L}{v_s} [s] \quad (5.2)$$

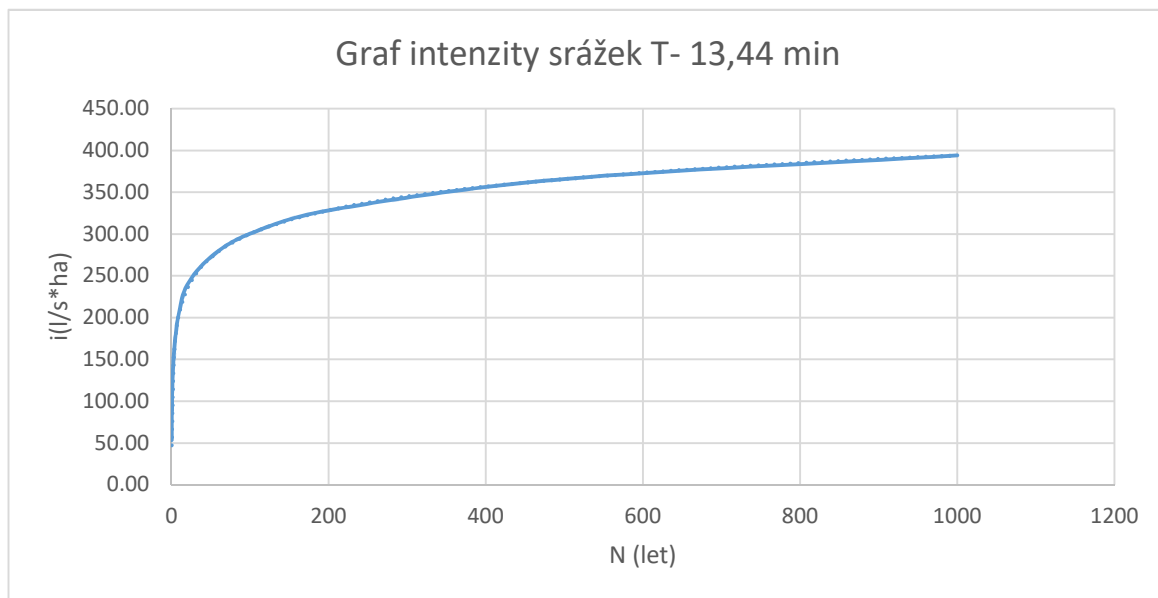
$$T = \frac{1371}{1,7} = 806,47[s] = 13,44 [min]$$

kde  $L$  je délka odtoku vody [m] a  $v_s$  rychlost postupu vody z povodí [m/s].

Tab. 5 Intenzita srážek pro dobu odtoku T

Doba trvání deště t v (min)	intenzita deště v l/s*ha při periodicitě n					
	5	2	1	0.5	0.2	0.1
13.44	53.34	82.42	108.24	139.41	176.56	207.61
	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
13.44	239.13	272.37	300.39	328.31	365.85	394.12

Průběh intenzity srážek závislých na periodě n je znázorněna v grafu obr. 16



Obr. 16 Graf intenzity srážek pro dobu odtoku T v závislosti na periodě n

### 5.2.5 STANOVENÍ PRŮTOKU $Q_A$

Průměrná výška srážek a výška odtoku byla zjištěna na českém hydrometeorologickém ústavu, úseku hydrologie.

Plocha povodí:  $P = 0,55 \text{ km}^2$

Výška odtoku  $H_0 = 54,7 \text{ mm}$

Průměrná výška srážek  $H = 671 \text{ mm}$

Stanovení součinitele odtoku:

$$\phi = \frac{H_0}{H} [-] \quad (5.3)$$

$$\phi = \frac{54,7}{671} = 0,08152 [-]$$

kde  $H_0$  je výška odtoku [mm] a  $H$  je průměrná výška srážek [mm].

Výpočet průtoku  $Q_a$ :

$$Q = P * \phi * i [l/s] \quad (5.4)$$

$$Q = 55,29 * 0,08152 * 53,34 = 240,41 [l/s]$$

kde  $P$  je plocha povodí [ $\text{m}^2$ ],  $\phi$  součinitel odtoku [-] dle rovnice (5.3).,  $i$  intenzita srážek viz Tab. 5

Tab. 6 Dopočítané průtoky Podlešínského potoka

Perioda n	5	2	1	0.5	0.2	0.1
$Q_a$ (l/s)	240.41	371.48	487.81	628.30	795.71	935.68
$Q_a$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0.24	0.37	0.49	0.63	0.80	0.94
Perioda n	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
$Q_a$ (l/s)	1077.71	1227.52	1353.82	1479.65	1648.82	1776.22
$Q_a$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	1.08	1.23	1.35	1.48	1.65	1.78

Průběh průtoků závislých na periodě  $n$  je znázorněna v grafu obr. 17



Obr. 17 Průtok podlešínského potoka v závislosti na periodě  $n$

### 5.3 NÁVRH SPODNÍ VÝPUSTI

Návrh spodní výpusti vychází z průtoku Podlešinského potoka. Spodní výpust byla dimenzována na návrhový průtok s dobou opakování  $N=1000$  let a průtokem  $Q_{1000}=1,78 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Spodní výpust je dimenzována a překontrolována výpočtem měrné křivky spodní výpusti.

#### 5.3.1 MĚRNÁ KŘIVKA SPODNÍCH VÝPUSTÍ

Nejprve se spočítá hladina vody před spodní výpustí, kde je rozmezí mezi minimální zásobní hladinou a maximální zásobní hladinou a to 12 m. Spodní výpust je na výškové kótě 436,5 m n. m. Délka potrubí spodní výpusti je 131,5 m.

Spodní výpust je odhadnuta jako jedno tlakové potrubí DN 400 se sklonem 1 %.

Jako další je potřeba stanovit místní ztrátu na vtoku dle Lískovce  $\xi = 0,04$

Následně se spočítá plocha potrubí  $S_v$  a plocha vtokového kusu  $S_i$

$$S_v = \frac{\pi d^2}{4} [\text{m}^2] \quad (5.5)$$

$$S_v = \frac{\pi * 0.4^2}{4} = 0,126 [\text{m}^2]$$

kde  $d$  je průměr potrubí [m].

$$S_i = \frac{\pi d^2}{4} [\text{m}^2] \quad (5.6)$$

$$S_i = \frac{\pi * 0,526^2}{4} = 0,217 [\text{m}^2]$$

kde  $d$  je průměr nátoku dle Lískovce [m].

Následně se vypočte ztráta třením po délce dle Chézyho, ke které je potřeba vypočítat omočený obvod, hydraulický poloměr a Chézyho rychlostní součinitel.

Výpočet omočeného obvodu:

$$O = 2 * \pi * r [\text{m}] \quad (5.7)$$

$$O = 2 * \pi * 0.04 = 1.257 [\text{m}]$$

kde  $r$  je poloměr potrubí [m]

Hydraulický poloměr:

$$R = \frac{S}{O} [\text{m}] \quad (5.8)$$

$$R = \frac{0,126}{1,257} = 0.1 [\text{m}]$$

kde  $S$  je plocha potrubí  $[\text{m}^2]$  dle rovnice (5.5) a  $O$  je omočený obvod [m] dle rovnice (5.7)



Chézyho rychlostní součinitel:

$$C = \frac{1}{n} * R^{1/6} [m^{0.5}/s] \quad (5.9)$$

$$C = \frac{1}{0.08} * 0.1^{1/6} = 85.162 [m^{0.5}/s]$$

kde n součinitel drsnosti potrubí [-] a R hydraulický poloměr [m] dle rovnice (5.8).

$$v = C * \sqrt{R * i} [m/s] \quad (5.10)$$

$$v = 85.162 * \sqrt{0.1 * 0.01} = 2.693 [m/s]$$

kde C je Chézyho rychlostní součinitel [m<sup>0.5</sup>/s] dle rovnice (5.9), R hydraulický poloměr [m] dle rovnice (5.8) a i sklon potrubí [%]

Součinitel ztrát třením dle Chézyho:

$$\lambda = \frac{8 * g}{C^2} [m] \quad (5.11)$$

$$\lambda = \frac{8 * 9.81}{85.162^2} = 0.0108 [m]$$

kde C je Chézyho rychlostní součinitel [m<sup>0.5</sup>/s] dle rovnice (5.9), g gravitační konstanta [N.m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>].

Poté se vypočítá výtokový součinitel  $\eta$

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{\left(\alpha + \xi * \frac{S_i}{S_v} + \lambda \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}\right)}} \quad (5.12)$$

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{\left(1,05 + 0,04 * \frac{0,126}{0,217} + 0.0180 * \frac{131.5}{0,4} * \frac{2.693^2}{2 * 9.81}\right)}} = 0,64689 [-]$$

Kde  $\alpha$  je Coriolisovo číslo [-],  $\xi$  místní ztráta na vtoku dle Lískovce [-],  $S_i$  plocha nátokového kusu [m<sup>2</sup>] dle rovnice (5.6),  $S_v$  plocha potrubí [m<sup>2</sup>] dle rovnice (5.5), L délka potrubí [m], D průměr potrubí [m], v rychlost v potrubí [m/s] (5.10), g gravitační konstanta [N.m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>],  $\lambda$  součinitel ztrát třením po délce [-] dle rovnice (5.11).

Nakonec se spočítá průtok Q:

$$Q = \eta * S_v * \sqrt{2 * g * H} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (5.13)$$

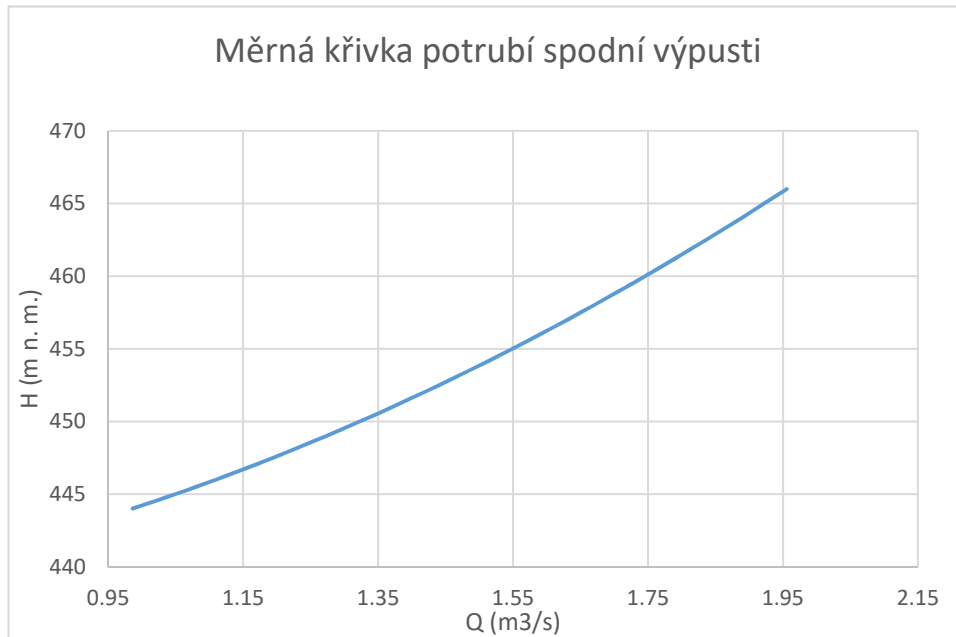
$$Q = 0,64689 * 0,217 * \sqrt{2 * 9,81 * (444 - 436,5)} = 0,99 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

kde  $\eta$  je ztráta na vtoku a po délce [-],  $S_v$  plocha potrubí [m<sup>2</sup>] dle rovnice (5.5),  $g$  gravitační konstanta [N.m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>],  $H$  hloubka vody pro příslušné plnění nádrže [m].

Tab. 7 Dopočítané průtoky potrubí spodní výpusti

Výška H	Plocha S	Průtok Q
(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)
444	0.126	0.99
445	0.126	1.05
446	0.126	1.11
447	0.126	1.17
448	0.126	1.22
449	0.126	1.27
450	0.126	1.32
451	0.126	1.37
452	0.126	1.42
453	0.126	1.46
454	0.126	1.51
455	0.126	1.55
456	0.126	1.59
457	0.126	1.63
458	0.126	1.67
459	0.126	1.71
460	0.126	1.75
462	0.126	1.82
464	0.126	1.89
466	0.126	1.96

Průběh průtoku spodní výpusti v závislosti na výšce plnění nádrže  $h$  je znázorněna v grafu obr. 18.



Obr. 18 Měrná křivka potrubí spodní výpusti

## 5.4 NÁVRH POTRUBÍ PŘIVADĚČŮ

Návrh odběrného vychází ze zadání. Potrubí přivaděčů je dimenzováno na návrhový průtok  $Q = 75 \text{ m}^3/\text{s}$ . Jako potrubí přivaděčů jsou navržena dvě ocelová tlaková potrubí DN 4000.

Potrubí přivaděčů bylo posouzeno na vznik vtokových vírů.

### 5.4.1 POSOUZENÍ VTOKU POTRUBÍ PŘIVADĚČŮ NA VZNIK VTOKOVÝCH VÍRŮ

Návrhový průtok na jednu turbínu:  $75 \text{ m}^3/\text{s}$

Kóta minimální provozní hladiny: 444 m n. m

Průměr přivaděče:  $d = 4000 \text{ mm}$

Nejdříve je potřeba spočítat průtočnou plochu potrubí  $S$ , aby se mohla spočítat rychlost v potrubí  $v$ .

$$A = \frac{\pi d^2}{4} [\text{m}^2] \quad (5.14)$$

$$A = \frac{\pi * 4^2}{4} = 12,56 [\text{m}^2]$$

kde  $d$  je průměr potrubí [m].

rychlost v potrubí v:

$$v = \frac{Q}{A} \text{ [m/s]} \quad (5.15)$$

$$v = \frac{75}{12,56} = 5,97 \text{ [m/s]}$$

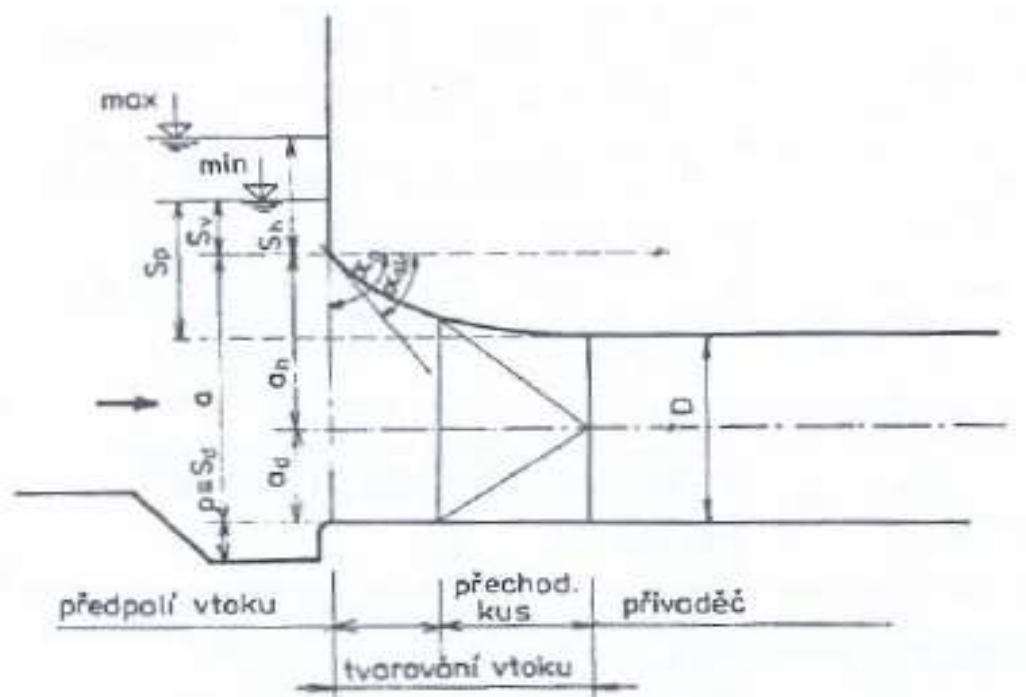
kde Q je průtok na jednu turbínu [m³/s] a A plocha potrubí [m²] dle rovnice (5.14).

Minimální ponoření stropu vtoku pod minimální provozní hladinou (Holata 2002) [2]:

$$Sp = 0,46 * v * D^{0,5} \text{ [m]} \quad (5.16)$$

$$Sp = 0,46 * 5,97 * 4^{0,5} = 5,49 \text{ [m]}$$

kde v je rychlost v potrubí [m/s] dle rovnice (5.15) a D průměr potrubí [m].



Obr. 19 Posouzení vtoku na vznik vtokových vírů (Holata 2002) [2]

Minimální nadmořská výška stropu vtoku do potrubí:  $444 - 5,49 = 438,51$  m n. m.

## 5.5 NÁVRH POTRUBÍ A ČERPADLA NA ČERPÁNÍ PRŮSAKŮ

Návrh potrubí vychází z odhadu, že maximální průtoky, které by mohli přitékat do šachty, jsou 10 l/s. Odhad vychází z maximálních průsaků stávající stavby horní nádrže PVE Dlouhé Stráně.

Výpočet je rozdělen do 2 částí a to návrh vakuometrické výšky a následně výšky manometrické. [10]

Návrh:

Návrhový průtok  $Q = 10 \text{ l/s}$

Návrhová rychlost  $v_n = 2 \text{ m/s}$

Corioliovo číslo  $\alpha = 1,05$

Průměr potrubí  $d = 0,08 \text{ m}$

Kinematická viskozita vody  $\nu = 0,000001317$

Potrubí mat. PE  $\rightarrow$  Skutečná drsnost  $k = 0,01 \text{ mm}$

### 5.5.1 VAKUOMETRICKÁ VÝŠKA

Parametry pro výpočet vychází z návrhu viz příloha A. 7 SO 02 Podélný řez spodní výpust. Sací výška  $h_{gs} = 3,5 \text{ m}$

Délka potrubí  $= 6 \text{ m}$

Počet kolen  $90^\circ = 1 \text{ ks}$

#### 5.5.1.2 ZTRÁTA TŘENÍM PO DÉLCE

Ekvivalentní délky armatury jsou odečteny z obr. 20 monogramu ekvivalentních délek armatur.

Délka potrubí  $= 6,4 \text{ m}$

Ekvivalentní délka koleno  $90^\circ = 5,5 \text{ m}$

Ekvivalentní délka sací koš  $= 20 \text{ m}$

Délka celkem  $= 20 + 5,5 + 6,4 = 31,9 \text{ m}$

Nejdříve se spočítá plocha a rychlost v potrubí v:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} [\text{m}^2] \quad (5.17)$$

$$A = \frac{\pi * 0.08^2}{4} = 0.005027 [\text{m}^2]$$

kde  $d$  je průměr tlakového potrubí  $[\text{m}]$

$$v = \frac{Q}{A} [\text{m/s}] \quad (5.18)$$

$$v = \frac{10}{0.005027} = 1,989 [\text{m/s}]$$

kde  $A$  je plocha potrubí  $[\text{m}^2]$  dle rovnice (5.17) a  $Q$  průtok  $[\text{m}^3/\text{s}]$ .

Následně se vypočte Reynoldsovo kritérium, které je potřeba pro výpočet ztrátového součinitele  $\lambda$

$$Re = \frac{v * d}{\nu} [-] \quad (5.19)$$

$$Re = \frac{1,989 * 0,08}{0,000001317} = 120\,847 [-]$$

kde  $v$  je rychlost v potrubí [m/s] dle rovnice (5.18),  $d$  je průměr potrubí [m] a  $\nu$  kinematická viskozita vody [-].

Výpočet ztrátového součinitele  $\lambda$

Výpočet ztrátového součinitele  $\lambda$  jsem vypočetl v přechodné oblasti odporů pomocí rovnice Colebrook a White.

Výpočet probíhá iteračně kdy, se nejdříve zvolí výsledek  $\lambda_0$ , který se dosadí do rovnice, a výsledek z rovnice označíme za  $\lambda_1$  a opět dosadíme do stejné rovnice. Tento postup se opakuje do té doby, dokud se výsledky nerovnají na tisícinu.

$$\lambda_0 = 0,03$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log \left( \frac{2,51}{Re * \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 * d} \right) [-] \quad (5.20)$$

Transformace rovnice pro výpočet:

$$\lambda_1 = \left( \frac{1}{-2 * \log \left( \frac{2,51}{120\,847 * \sqrt{0,03}} + \frac{0,01}{3,71 * 80} \right)} \right)^2 = 0,022 [-]$$

$$\lambda_2 = \left( \frac{1}{-2 * \log \left( \frac{2,51}{120\,847 * \sqrt{0,022}} + \frac{0,01}{3,71 * 80} \right)} \right)^2 = 0,023 [-]$$

$$\lambda_3 = \left( \frac{1}{-2 * \log \left( \frac{2,51}{120\,847 * \sqrt{0,023}} + \frac{0,01}{3,71 * 80} \right)} \right)^2 = 0,023 [-]$$

kde  $\lambda$  je ztrátový součinitel [-] dle rovnice (5.20),  $Re$  Reynoldsovo kritérium [-] dle rovnice (5.19),  $d$  průměr potrubí [m],  $k$  skutečná drsnost potrubí [mm].

Nakonec se vypočte ztráta třením po délce  $Z_t$

Pro výpočet ztráty třením po délce byla použita Darcy - Weisbachova rovnice:

$$Z_t = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g} [m] \quad (5.21)$$

$$Z_t = 0,023 * \frac{31,9}{0,08} * \frac{1,989^2}{2 * 9,81} = 1,82 [m]$$

kde  $\lambda$  je ztráta třením po délce [-] dle rovnice (5.20),  $v$  je rychlost v potrubí [m/s] dle rovnice (5.18),  $D$  je průměr potrubí [m],  $L$  délka potrubí [m] a  $g$  gravitační konstanta [N.m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>].

### 5.5.1.2 ZTRÁTA MÍSTNÍ

Ztráta sací koš  $\xi_{sk} = 5,2$

Ztráta koleno 90°  $\xi_{90} = 0,4$

$$Z_m = \Sigma \xi * \frac{\alpha * v^2}{2 * g} [m] \quad (5.22)$$

$$Z_m = (5,2 + 0,4) * \frac{1,05 * 1,989^2}{2 * 9,81} = 1,13 [m]$$

kde  $\xi$  je místní ztráta [-],  $v$  je rychlost v potrubí [m/s] dle rovnice (5.18),  $\alpha$  Coriolisovo číslo [-],  $g$  gravitační konstanta [N.m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>].

### 5.5.1.3 CELKOVÁ VAKUOMETRICKÁ VÝŠKA

$$H_{vak} = Z_t + Z_m + H_{gs} [m] \quad (5.23)$$

$$H_{vak} = 1,8 + 1,13 + 3,5 = 6,43 [m]$$

### 5.5.1.3 VÝPOČET DO TABULKY

Výpočet do tabulky je proveden pro průtoky odpovídající polovině návrhového průtoku, návrhový průtok a pro průtok o polovinu větší než návrhový. Sečtením ztráty po délce se ztrátou místní a sací výškou je roven vakuometrické výšce. Výsledky výpočtu jsou vidět v tab. 8.

Tab. 8 Výpočet vakuometrické výšky

	Q	v	Re	$\lambda_0$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$Z_t$	$Z_m$	$H_{vak}$
	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[m]	[m]
0.5 Q	0.005	0.995	60423	0.03	0.024	0.024	0.024	0.49	0.28	7.17
1 Q	0.01	1.989	120847	0.03	0.022	0.023	0.023	1.82	1.13	9.35
1.5 Q	0.015	2.984	181270	0.03	0.022	0.022	0.022	3.99	2.54	12.94

## 5.5.2 MANOMETRICKÁ VÝŠKA

Parametry pro výpočet vychází z návrhu viz příloha A. 7 SO 02 Podélný řez spodní výpusti.

Výtlačná výška  $H_{gv} = 27$  m

Délka potrubí = 53 m

Počet kolen  $90^\circ = 2$  ks

Počet kolen  $27^\circ = 7$  ks

Počet zpětných klappek = 1 ks

### 5.5.2.1 ZTRÁTA TŘENÍM PO DÉLCE

Ekvivalentní délky armatury jsou odečteny z obr. 20 monogramu ekvivalentních délek armatur

Ekvivalentní délka koleno  $90^\circ = 5,5$  m

Ekvivalentní délka koleno  $27^\circ = 2$  m

Ekvivalentní délka zpětná klapka = 6,2 m

Délka potrubí = 53 m

Délka celkem =  $53 + 6,2 + 2 * 2 + 5,5 * 7 = 101,7$  m

Výpočet ztráty třením po délce je analogický jako u výpočtu výšky vakuometrické, a je shrnut do výpočtu v tab. 9.

### 5.5.2.2 ZTRÁTA MÍSTNÍ

Ztráta koleno  $90^\circ \xi_{90} = 0,4$

Ztráta koleno  $27^\circ \xi_{27} = 0,1606$

Ztráta zpětná klapka  $\xi_{zk} = 3,2$

Ztráta výtoku  $\xi_{výtok} = 1,1$

Výpočet místní ztráty je analogický jako u výpočtu výšky vakuometrické, a je shrnut do výpočtu v tab. 9.

### 5.5.2.3 VÝPOČET DO TABULKY

Výpočet do tabulky je proveden pro poloviční průtok, návrhový a pro průtok o polovinu větší než návrhový. Sečtením ztráty po délce se ztrátou místní a výtlačnou výškou je roven manometrické výšce.

Tab. 9 Výpočet manometrické výšky

	Q	v	Re	$\lambda_0$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$Z_t$	$Z_m$	$H_{man}$
	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[m]	[m]
0.5 Q	0.005	0.995	60423	0.03	0.024	0.024	0.024	1.55	0.28	28.83
1 Q	0.010	1.989	120847	0.03	0.022	0.023	0.023	5.81	1.11	33.92
1.5 Q	0.015	2.984	181270	0.03	0.022	0.022	0.022	12.74	2.50	42.23



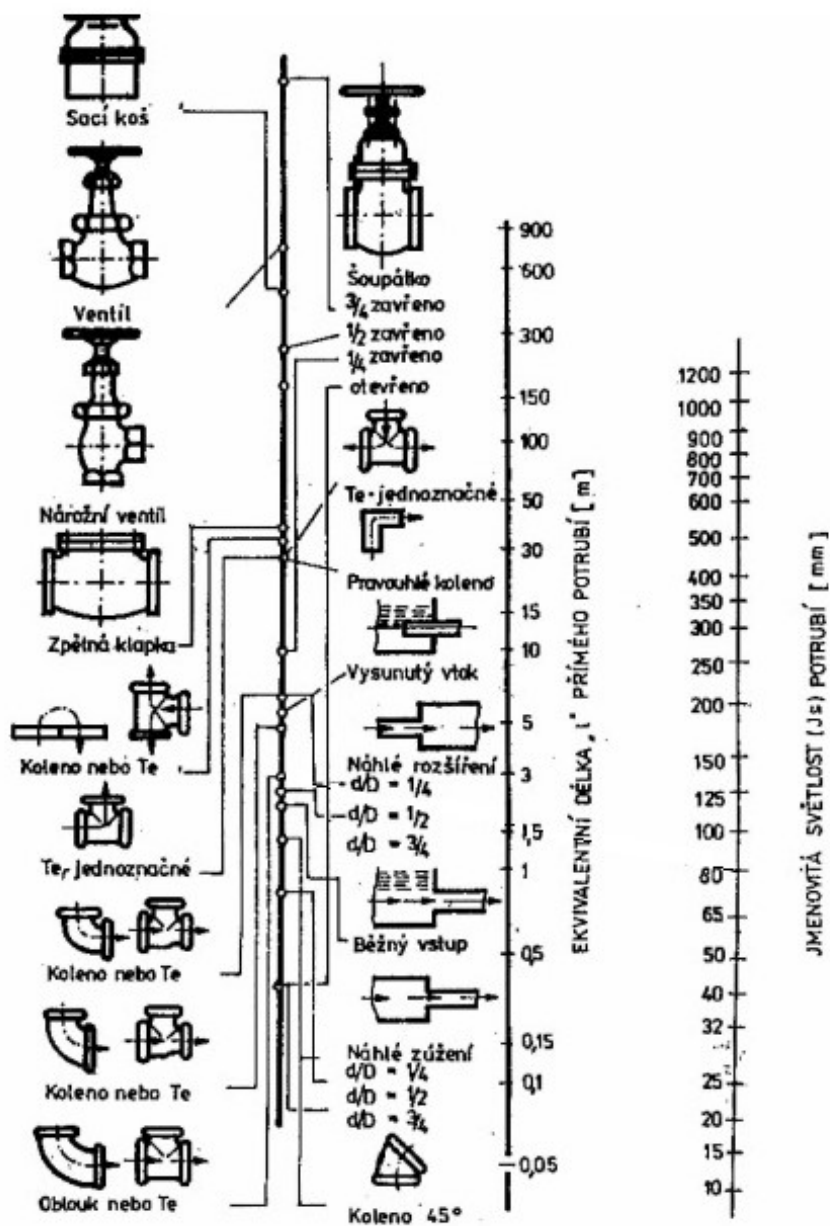
### 5.5.3 CELKOVÁ VÝŠKA

$$H_{celkem} = H_{man} + H_{vak} [m] \quad (5.24)$$

$$H_{celkem} = 33,92 + 6,43 = 40,35 [m]$$

Tab. 10 Výpočet celkové čerpané výšky

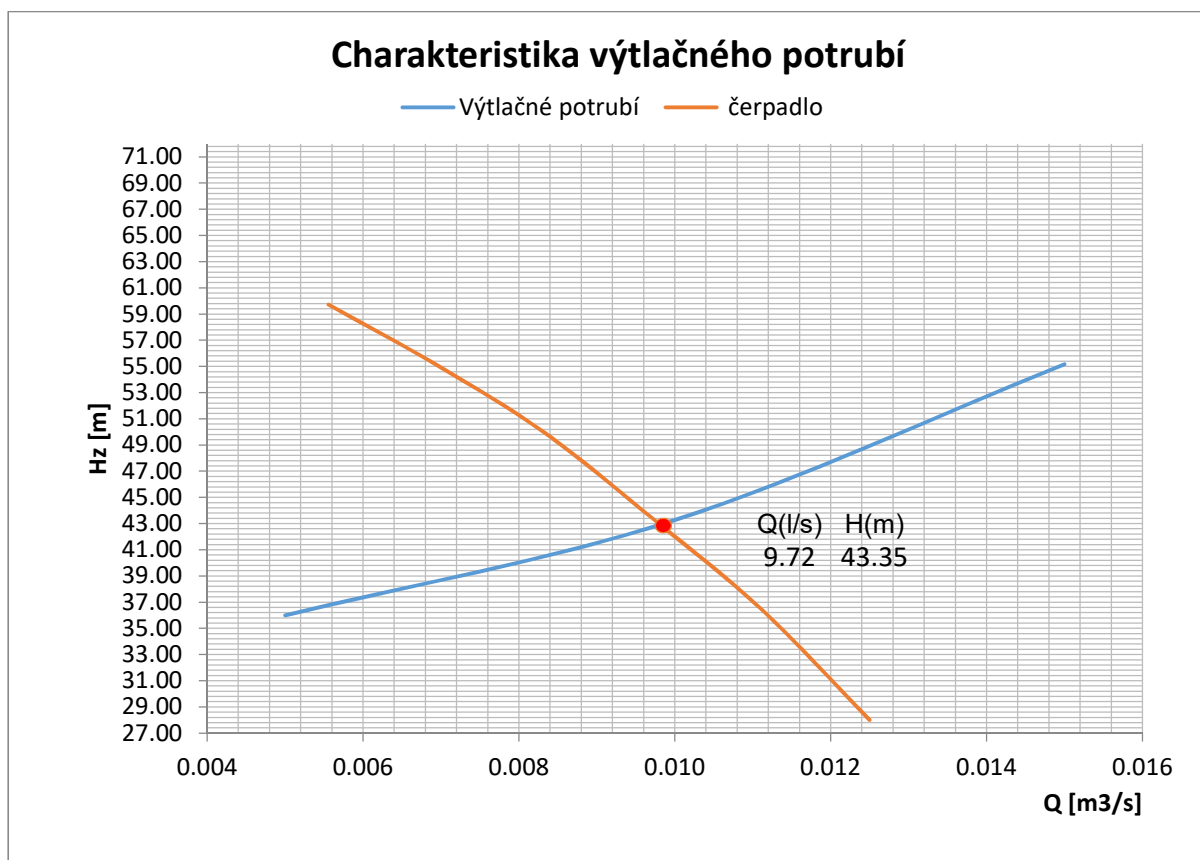
	Q	H <sub>celk</sub>
	[m <sup>3</sup> /s]	[m]
0.5 Q	0.005	35.99
1 Q	0.01	43.27
1.5 Q	0.015	55.17



Obr. 20 Monogram ekvivalentních délek armatur

### 5.5.4 NÁVRH ČERPADLA

Pro čerpání průsaků je navrženo odstředivé čerpadlo Walrus TPH 25T 5KNF. Charakteristický průběh čerpadla je znázorněn v grafu na obr. 21.



Obr. 21 Pracovní bod čerpadla

Charakteristický průběh výtlačného potrubí a charakteristický průběh čerpadla se protnul v bodě  $Q$  9,72 l/s a  $H$  43,35 m, jež se označuje, jako pracovní bod čerpadla viz obr. 21.

## 5.6 VÝPOČET VÝŠKY VÝBĚHU VLNY NA SVAH

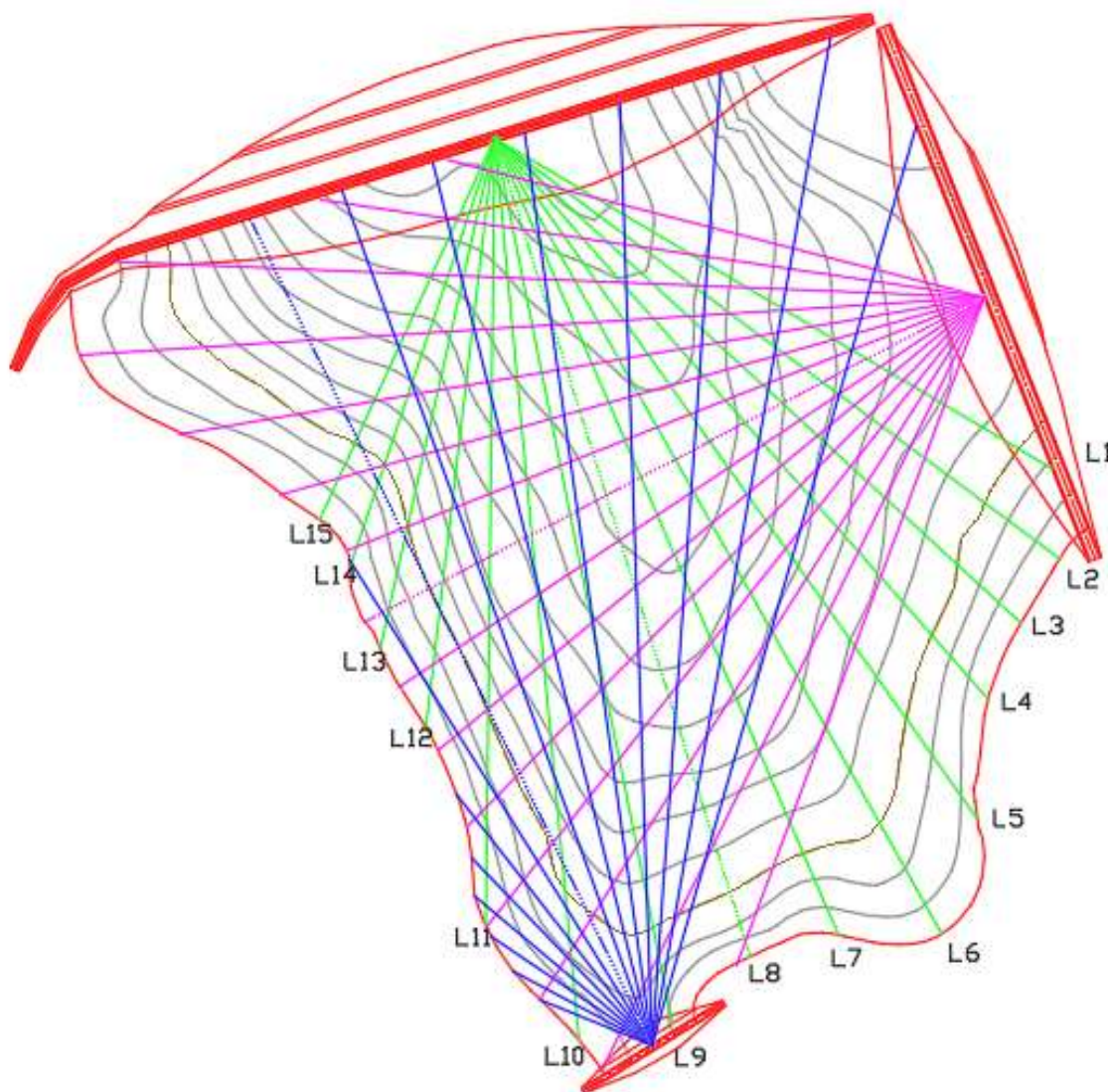
Výpočet výšky výběhu vlny na svah je proveden v souladu s ČSN 75 0255 Výpočet účinků vln na stavby na vodních zdržích a nádržích.

### 5.6.1 EFEKTIVNÍ DÉLKA ROZBĚHU VLNY

Efektivní délka rozběhu větru  $L_{ef}$  se stanoví z 15 - ti délek rozběhu vln, takzvaných radiál, vedených středem osy hráze, tak že střední délka je totožná s hlavním směrem větru a další radiály se kreslí po obou jejích stranách v intervalu po  $6^\circ$  až k protějšímu břehu, viz obr. 22. [14]

$$L_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^{15} L_i \cos^2 \varphi_i}{\sum_{i=1}^{15} \cos \varphi_i} [m] \quad (5.25)$$

kde  $L_i$  je délka i-té radiály [m] a  $\varphi_i$  úhel, který svírá i-tá radiála s radiálou v hlavním směru  $[\circ]$ .



Obr. 22 Efektivní délka rozběhu vlny

## 5.6.2 PARAMETRY VLNY

Pro výpočet se použilo rychlosti větru po dobu trvání 1 až 2 hodin s pravděpodobností překročení 1 %  $w_{10z} = 25$  m/s, jelikož neznáme vítr v dané oblasti.

Vztah mezi rychlostí větru nad hladinou a hladinou vody dochází k zaclonění okolím terénem. Pro přepočítání se použije vzorec:

$$w_{10v} = k * w_{10z} [m/s] \quad (5.26)$$

kde  $k$  je součinitel určený z tab. 2 normy ČSN 75 0255.

Nejdříve se vypočte výška nahnání hladiny větrem  $\Delta H$ :

$$\Delta H = k_w * \frac{w_{10v}^2 * L}{g * H} * \cos \delta [m] \quad (5.27)$$

kde  $k_w$  je součinitel závislý na rychlosti větru [-],  $w_{10v}$  rychlost větru [m/s] dle rovnice (5.26),  $L$  délka rozběhu vlny [m],  $g$  gravitační konstanta [ $N \cdot m^2 / kg^2$ ],  $H$  hloubka vody při hladině v klidu [m] a  $\cos \delta$  úhel mezi podélnou osou nádrže a směrem větru [ $^\circ$ ].

Následně se vypočtou parametry vlny a vypočte se výběh vlny

### A) V hlubokém pásmu

Charakteristická výška vlny  $h_c$  se určí podle grafu na obr. 3 normy ČSN 75 0255, tak že se ukazateli  $\frac{gL_{ef}}{w_{10v}^2}$  odečte na příslušné obálce  $\frac{gH}{w_{10v}^2}$  grafu veličina  $\frac{gh_c}{w_{10}^2}$ , ze které se následně vypočte hodnota  $h_{0c} \cong h_c$ .

Perioda vlny  $T_{0c}$ , příslušná k charakteristické výšce vlny  $h_{0c}$  se určí podle grafu na obr. 4 normy ČSN 75 0255, tak že se ukazateli  $\frac{gL_{ef}}{w_{10v}^2}$  odečte na příslušné obálce grafu veličina  $\frac{gT}{2\pi w_{10v}}$ , ze které se následně vypočte hodnota  $T_{0c} (\cong T)$ .

K vyvolání ustáleného vlnového pole při dané rychlosti větru je potřeba minimální doba trvání větru  $t$ , která závisí na periodě vlny  $T$ . Výpočet minimální doby trvání větru  $t$  byl proveden podle rovnice:

$$t_{min} = 0,027 * \frac{L_{ef}}{T} [min] \quad (5.28)$$

kde  $L_{ef}$  je efektivní délka rozběhu vlny a  $T$  perioda vlny.

Délka vlny  $\lambda_c$  se vypočte dle rovnice:

$$\lambda_c = \frac{g * T_{0c}^2}{2 * \pi} [m] \quad (5.29)$$

kde  $g$  gravitační konstanta [ $N.m^2/kg^2$ ] a  $T_{0c}$  perioda vlny.

Postupová rychlost se vypočte dle rovnice:

$$c_c = \frac{\lambda_c}{T_c} [m/s] \quad (5.30)$$

kde  $\lambda_c$  je délka vlny vypočtená dle rce. (5.29) a  $T_c$  perioda vlny. [14]

### 5.6.3 VÝŠKA VÝBĚHU VLNY NA SVAH

U výpočtu výběhu vlny na svah se vychází z charakteristické výšky vlny  $h_c$  s přepočtem na pravděpodobnost překročení 1 %:

$$h_{1\%} = h_c * k_p [m] \quad (5.31)$$

kde  $h_c$  je charakteristická výška vlny,  $k_p$  součinitel pravděpodobnosti překročení určený z tab. 1 normy ČSN 75 0255.

Výška výběhu vlny na svah  $h_{v1\%}$  se určí ze vzorce:

$$h_{v1\%} = k_d * k_p * h_{1\%} [m] \quad (5.32)$$

kde  $k_d$  je součinitel závislý na drsnosti určený z tab. 7 normy ČSN 75 0255,  $k_p$  součinitel podle grafu na obr. 11 normy ČSN 75 0255 a  $h_{1\%}$  výška vlny s pravděpodobností překročení 1 %.

Výška výběhu vlny s pravděpodobností překročení  $i$  % - v tomto případě 13 % se vypočte z rovnice (5.32) výběhu vlny na svah  $h_{v1\%}$  vynásobené součinitelem pravděpodobnosti překročením výšky výběhu  $i$  [%] :

$$h_{v13\%} = k_i * h_{v1\%} [m] \quad (5.33)$$

kde  $h_{v1\%}$  je výběh vlny na svah dle rovnice (5.32) a  $k_i$  součinitelem pravděpodobnosti překročením výšky výběhu  $i$  (%) určený z tab. 8 normy ČSN 75 0255.

Výška výběhu na svah jelikož svírá fronta vlny úhel  $\beta$  s lícem svahu. Výška se určí z rovnice

$$h_{v13\%\beta} = k_{\beta} * h_{v13\%}[m] \quad (5.34)$$

(5.33) výšky výběhu vlny s pravděpodobností překročení  $i\%$  vynásobené součinitelem  $k_{\beta}$ .

kde  $h_{v13\%}$  je výška výběhu vlny s pravděpodobností překročení 13 % vypočtené dle rce.(5.33) a  $k_{\beta}$  součinitel úhlu  $\beta$  určený z tab. 9 normy ČSN 75 0255. [14]

Celková výška vlny  $H$  se vypočte jako:

$$H = \Delta H + h_{v13\%\beta}[m]$$

kde  $\Delta H$  je výška nahnání hladiny větrem [m] dle rce. (5.27) a  $h_{v13\%\beta}$  je výška výběhu na svah [m] dle rce. (5.34).

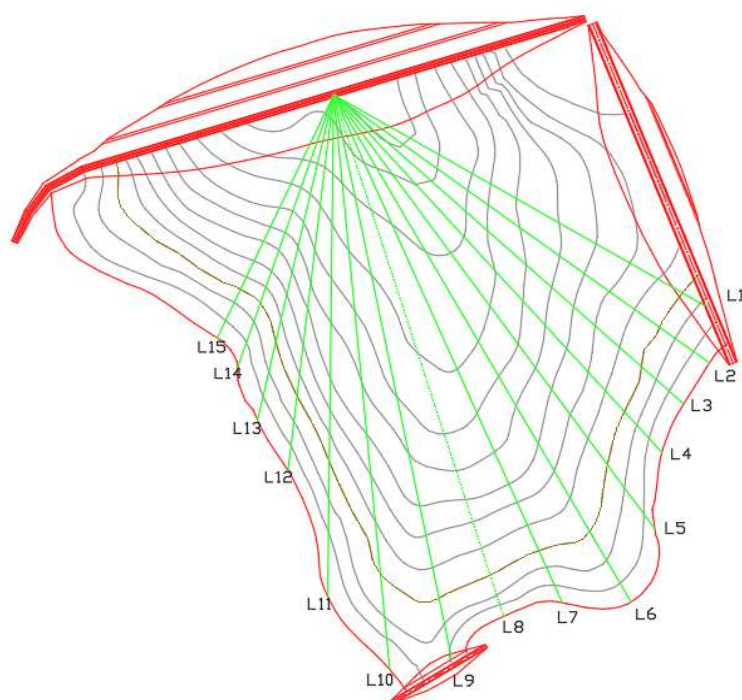
Celý postup výpočtu je shrnut do tabulek pro jednotlivé tělesa hráze v tab. 11, tab. 12 a tab. 13.

## 5.6.4 VÝBĚH VĚTROVÉ VLNY NA TĚLESO HRÁZE Č.1

Tab. 11 Výběh větrové vlny na těleso hráze č.1

Radiála	$L_i$	$\phi_i$	úhel rad	$L_i \cdot \cos^2 \phi$	$\cos \phi$	$L_{ef}$	$gL_{ef}/w_{10v}^2$	$gH/w_{10v}^2$	$gT/2\pi w_{10v}^2$	T	$ghc/w_{10v}^2$	hc
1	490.65	42	0.73	270.97	0.74	515.58	6.94	0.32	0.150	70.04	0.0080	0.59
2	532.86	36	0.63	348.76	0.81							
3	541.29	30	0.52	405.97	0.87							
4	565.01	24	0.42	471.54	0.91							
5	631.3	18	0.31	571.02	0.95							
6	690.1	12	0.21	660.27	0.98							
7	656.33	6	0.10	649.16	0.99							
8	648.29	0	0.00	648.29	1.00							
9	682.85	6	0.10	675.39	0.99							
10	685.1	12	0.21	655.48	0.98							
11	595.14	18	0.31	538.31	0.95							
12	448.81	24	0.42	374.56	0.91							
13	395.55	30	0.52	296.66	0.87							
14	342.71	36	0.63	224.31	0.81							
15	317.32	42	0.73	175.24	0.74							
				6965.93	13.51							

g	9.81 [N.m <sup>2</sup> /kg <sup>2</sup> ]
H	24 [m]
L	773.38 [m]
$w_{10z}$	25 [m/s]
k	1.08 [-]
$w_{10v}$	27 [m/s]
$k_w$	2.73E-06 [-]
$\Delta H$	0.0041 [m]
$t_{min}$	0.20 [min]
$\lambda_c$	7658.58 [m]
$c_c$	109.26 [m/s]
$h_{1\%}$	0.83 [m]
$h_{v1\%}$	2.00 [m]
$h_{v13\%}$	0.71 [m]
$\beta$	24° [°]
$k_\beta$	0.94 [-]
$h_{v13\%\beta}$	0.67 [m]
H	0.669 [m]



Obr. 23 Efektivní délka rozběhu vlny hráze č. 1

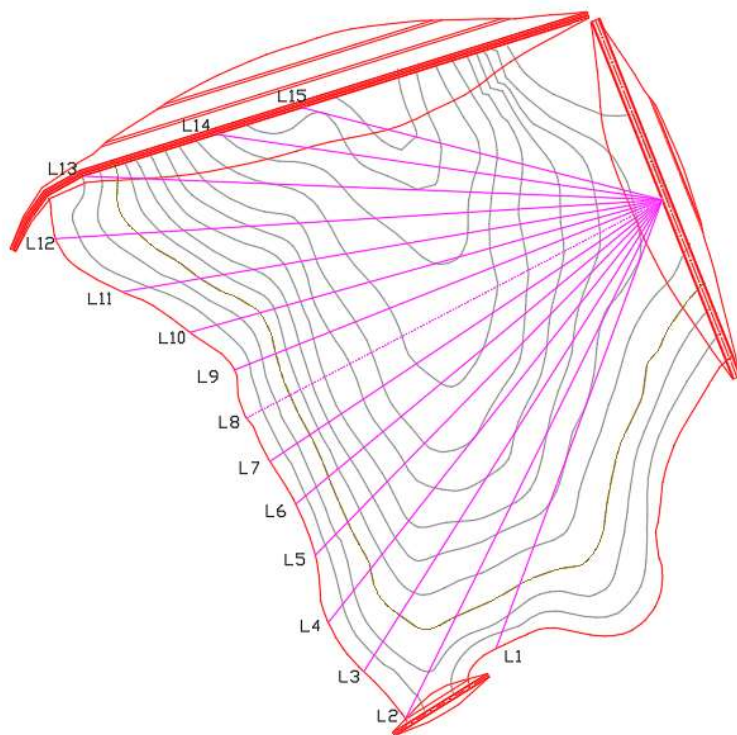


## 5.6.5 VÝBĚH VĚTROVÉ VLNY NA TĚLESO HRÁZE Č.2

Tab. 12 Výběh větrové vlny na těleso hráze č.2

Radiála	$L_i$	$\phi_i$	úhel rad	$L_i \cdot \cos^2 \phi$	$\cos \phi$	$L_{ef}$	$gL_{ef}/w_{10V}^2$	$gH/w_{10V}^2$	$gT/2\pi w_{10V}^2$	T	$ghc/w_{10V}^2$	hc
1	539.4	42	0.73	297.89	0.74	518.77	8.14	0.32	0.15	60.05	0.0090	0.67
2	652.59	36	0.63	427.13	0.81							
3	629.23	30	0.52	471.92	0.87							
4	607.27	24	0.42	506.81	0.91							
5	559.95	18	0.31	506.48	0.95							
6	537.15	12	0.21	513.93	0.98							
7	531.74	6	0.10	525.93	0.99							
8	529.73	0	0.00	529.73	1.00							
9	519.41	6	0.10	513.73	0.99							
10	553.44	12	0.21	529.52	0.98							
11	618.01	18	0.31	559.00	0.95							
12	685.96	24	0.42	572.48	0.91							
13	653.95	30	0.52	490.46	0.87							
14	508.13	36	0.63	332.58	0.81							
15	419.23	42	0.73	231.53	0.74							
				7009.10	13.51							

g	9.81 [N.m <sup>2</sup> /kg <sup>2</sup> ]
H	24 [m]
L	773.38 [m]
w <sub>10z</sub>	25 [m/s]
k	1.08 [-]
w <sub>10v</sub>	27 [m/s]
k <sub>w</sub>	2.73E-06 [-]
ΔH	0.00001 [m]
t <sub>min</sub>	0.23 [min]
λ <sub>c</sub>	5629.29 [m]
c <sub>c</sub>	93.67 [m/s]
h <sub>1%</sub>	0.94 [m]
h <sub>v1%</sub>	2.25 [m]
h <sub>v13%</sub>	1.91 [m]
β	24° [°]
k <sub>β</sub>	0.94 [-]
h <sub>v13%β</sub>	1.80 [m]
H	1.796 [m]



Obr. 24 Efektivní délka rozběhu vlny hráze č. 2

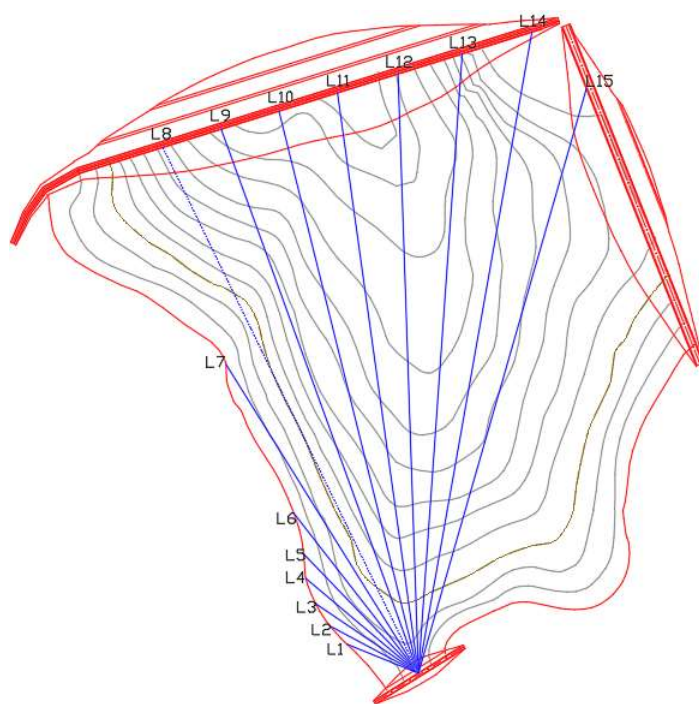


## 5.6.6 VÝBĚH VĚTROVÉ VLNY NA TĚLESO HRÁZE Č.3

Tab. 13 Výběh větrové vlny na těleso hráze č.3

Radiála	$L_i$	$\phi_i$	úhel rad	$L_i \cdot \cos^2 \phi$	$\cos \phi$	$L_{ef}$	$gL_{ef}/w_{10v}^2$	$gH/w_{10v}^2$	$gT/2\pi w_{10v}^2$	T	$ghc/w_{10v}^2$	hc
1	91.54	42	0.73	50.55	0.74	434.25	5.84	0.323	0.097	45.29	0.0078	0.58
2	119.3	36	0.63	78.08	0.81							
3	146.99	30	0.52	110.24	0.87							
4	175.15	24	0.42	146.17	0.91							
5	196.56	18	0.31	177.79	0.95							
6	240.88	12	0.21	230.47	0.98							
7	432.77	6	0.10	428.04	0.99							
8	624.67	0	0.00	624.67	1.00							
9	687.56	6	0.10	680.05	0.99							
10	688.02	12	0.21	658.28	0.98							
11	696.11	18	0.31	629.64	0.95							
12	712.29	24	0.42	594.45	0.91							
13	737.52	30	0.52	553.14	0.87							
14	773.38	36	0.63	506.18	0.81							
15	723.1	42	0.73	399.34	0.74							
				5867.11	13.51							

g	9.81	[N.m <sup>2</sup> /kg <sup>2</sup> ]
H	24	[m]
L	773.38	[m]
w <sub>10z</sub>	25	[m/s]
k	1.08	[-]
w <sub>10v</sub>	27	[m/s]
k <sub>w</sub>	2.73E-06	[-]
ΔH	0.0046	[m]
t <sub>min</sub>	0.26	[min]
λ <sub>c</sub>	3202.65	[m]
c <sub>c</sub>	70.65	[m/s]
h <sub>1%</sub>	0.81	[m]
h <sub>v1%</sub>	1.75	[m]
h <sub>v13%</sub>	1.49	[m]
β	36.00	[°]
k <sub>β</sub>	0.74	[-]
h <sub>v13%β</sub>	1.10	[m]
H	1.101	[m]



Obr. 25 Efektivní délka rozběhu vlny hráze č. 3

## 6 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo provést ideový návrh horní nádrže přečerpávací elektrárny Podlešín se zásobním objemem alespoň 3,5 mil. m<sup>3</sup> vody a vyřešit přepouštění Podlešínského potoka.

Základní úlohou bylo určit přesné místo a tvar tělesa hráze tak abych dostal požadovaný objem. Následně navrhnout typ těsnění tělesa hráze a vyřešit ukončení a napojení těsnění. Posléze navrhnout funkční objekty a nakonec vyřešit přepouštění Podlešínského potoka.

Jako rámci řešení byl navržen sdružený objekt. Tento objekt sdružuje vtokový objekt spolu s nátokem do spodní výpusti a přivaděčů do elektrárny, navazující revizní objekt pro kontrolu uzávěrů, chodbu odběrného objektu a spodní výpusti a u vzdušní paty hráze vstupní objekt.

Odběrná potrubí jsou navržena dvě DN 4000 mm, která vedou do dolní strojovny plánované elektrárny. V elektrárně budou instalovány dvě soustrojí s reverzní turbínou a návrhovým průtokem 75 m<sup>3</sup>/s na jednu turbínu.

Spodní výpust je navržena jedna DN 400 mm, která je vyústěná na vzdušné straně hráze č. 1 do vývaru. Vývar je následně napojen na odpadní koryto, které je navázáno na původní koryto Podlešínského potoka. Výpust slouží pro přepouštění Podlešínského potoka při deštivých obdobích a zároveň jako revizní výpust, při náhlém překročení maximální zásobní hladiny.

Jelikož zátopová oblast obsahuje i silnici III. Třídy vedoucí z obce Podlešín, bude muset být vybudována přeložka silnice, která nově povede po koruně hráze č. 2 a následně bude navazovat na původní silnici.

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

### 7.1 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Značka	Veličina	Rozměr
A	plocha	$[m^2]$
$c_c$	postupová rychlost vlny	$[m/s]$
C	Chézyho rychlostní součinitel	$[m^{0.5}/s]$
d	průměr potrubí	$[m]$
D	průměr potrubí	$[m]$
g	gravitační konstanta	$[N.m^2/kg^2]$
H	výška hladiny vody	$[m]$
H	průměrná výška srážek	$[mm]$
$H_0$	výška odtoku	$[mm]$
$h_c$	charakteristická výška vlny	$[m]$
$h_{min}$	nejvyšší nadmořská výška v povodí	$[m \text{ n. m.}]$
$h_{max}$	nejnižší nadmořská výška v povodí	$[m \text{ n. m.}]$
$H_{gs}$	výška sací	$[m]$
$H_{gv}$	výška výtlačná	$[m]$
$H_{vak}$	výška vakuometrická	$[m]$
$H_{man}$	výška manometrická	$[m]$
i	průměrný sklon potrubí	$[\%]$
k	skutečná drsnost potrubí	$[mm]$
L	délka potrubí	$[m]$
L	délka odtoku vody	$[m]$
L	délka rozběhu větru	$[m]$
$L_{ef}$	efektivní délka rozběhu větru	$[m]$
$L_i$	délka i-té radiály rozběhu vlny	$[m]$
O	omočený obvod	$[m]$
P	plocha povodí	$[m^2]$
P	plocha zalesnění	$[m^2]$
Q	průtok	$[m^3/s]$
Re	Reynoldsovo kritérium	$[-]$
R	hydraulický poloměr	$[m]$

$S_i$	plocha	$[m^2]$
$S_v$	plocha	$[m^2]$
$S_p$	plocha	$[m^2]$
$T$	návrhová doba trvání deště dle Čerkašina	$[s]$
$T_c$	perioda vlny	$[min]$
$t_{min}$	minimální trvání větru	$[m^2]$
$v$	rychlost	$[m/s]$
$v_s$	rychlost postupu vody z povodí	$[m/s]$
$w_{10v}$	rychlost větru ve výšce 10 m nad hladinou vody v klidu	$[m/s]$
$w_{10z}$	rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí	$[m/s]$
$Z_t$	ztráta třením po délce	$[m]$
$Z_m$	ztráta místní	$[m]$
$\Pi$	Ludolfovo číslo	$[-]$
$\Delta h$	rozdíl nejvyšší a nejnižší nadmořské výšky v povodí	$[m]$
$\Delta H$	výška namáhání vody větrem	$[m]$
$\delta$	úhel mezi podélnou osou nádrže a směrem větru	$[^\circ]$
$\varphi$	součinitel odtoku	$[-]$
$\varphi_i$	úhel, který svírá i-tá radiála s hlavním směrem větru	$[^\circ]$
$\lambda_{0c}$	délka vlny	$[m]$
$\alpha$	Coriliosovo číslo	$[-]$
$\xi$	ztrátový součinitel místní	$[-]$
$\lambda$	ztrátový součinitel po délce	$[-]$
$\eta$	vtokový součinitel	$[-]$

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DRÁB, A. a kol. 2016. *PVE PODLEŠÍN - Možnosti hydroenergetického využití lokality - 1. ETAPA, Zajištění a analýza dostupných informací a podkladů vážících se k dané lokalitě*, Zpráva pro Povodí Labe, státní podnik, Brno 11/2016.
- [2] ŘÍHA, J. a kol.; ALEŠ DRÁB 2007 *Vybrané stati z hydrotechniky MODUL III – Využití hydroenergetického potenciálu*. Studijní opora, Jaromír Říha a kol., Brno 2007
- [3] H.P. PFIFFNER, 2003. *Asphalt Hydraulic Engineering book - Department of Dam and Waste Deposits Construction*. Walo Bertschinger Ltd. Zurich/Switzerland, 2003.  
<http://www.walo.ch>
- [4] ČSN 75 2020 *Asfaltové vrstvy hydrotechnických staveb* Český normalizační institut, Duben 2010
- [5] ČSN 75 2310 *Sypané hráze* Český normalizační institut, září 2006
- [6] ČSN 75 2340 *Navrhování přehrad* Český normalizační institut, říjen 2004
- [7] ČSN 75 2410 *Malé vodní nádrže* Český normalizační institut, duben 2011
- [8] STARÝ, M., 2006 *Nádrže a vodohospodářské soustavy*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006.
- [9] STARÝ, M., 2005 *Hydrologie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005.
- [10] JANDORA, JAN-ŠULC, JAN. 2007 *Hydraulika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-7204-512-9
- [11] KRATOCHVÍL, J.; JANDA, M.; STARA, V.; 1987 *Projektování přehrad*. Brno: Ediční středisko VUT Brno 1987
- [12] KRATOCHVÍL, S., 1961 *Vodní nádrže a přehrady*. Praha, Nakladatelství akademie českých věd, Praha 1961
- [13] TRUPL, J., 1958 *Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy*. Praha: Podbaba 1958
- [14] ČSN 75 0255 *Výpočet účinku vln na stavby na vodních nádržích a zdržích* Československý normalizační institut, únor 1987
- [15] Český hydrometeorologický ústav, úsek hydrologie <http://voda.chmi.cz>

- [16] *Povodňový plán města Ústí nad Labem*. Magistrát města Ústí nad Labem, odbor mimořádných událostí, 2003. Dostupné z: <http://www.usti-nad-labem.cz/dpp>
  
- [17] KAHÁNEK, Jiří. *Použití geomembrán při rehabilitačních projektech v České republice*. Vodní hospodářství, 2000. Dostupné z: [www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf](http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf)
  
- [18] [www.maps.google.cz](http://www.maps.google.cz)
  
- [19] [www.bpej.vumop.cz](http://www.bpej.vumop.cz)

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Mapa zájmového území [18].....	6
Obr. 2 Geomorfologická mapa zájmového území .....	7
Obr. 3 Geologická mapa zájmového území [1].....	8
Obr. 4 Mapa stanoveného povodí a dalších veličin .....	9
Obr. 5 Detail napojení PVC geomembrány SIBELON CNT na injekční chodbu .....	12
Obr. 6 Detail A koruna tělesa hráze č.1 .....	13
Obr. 7 Detail napojení PVC geomembrány SIBELON CNT na revizní objekt s uzávěry .....	16
Obr. 8 Příčný řez přístupovým objektem v místě odběrného potrubí .....	17
Obr. 9 Detail napojení PVC geomembrány SIBELON CNT na injekční bloček .....	19
Obr. 10 Detail C koruna tělesa hráze č.2.....	20
Obr. 11 Detail koruny tělesa hráze č.3 .....	22
Obr. 12 Čára zatopených ploch a čára zatopených objemů .....	24
Obr. 13 Čára náhradních intenzit dešťů .....	26
Obr. 14 Intenzita deště v závislosti na opakování .....	26
Obr. 15 Graf závislosti střední rychlosti postupu vody v toku, sklonu a zalesněnosti dle Čerkašína.....	27
Obr. 16 Graf intenzity srážek pro dobu odtoku T v závislosti na periodě n .....	28
Obr. 17 Průtok podlešínského potoka v závislosti na periodě n .....	29
Obr. 18 Měrná křivka potrubí spodní výpusti .....	33
Obr. 19 Posouzení vtoku na vznik vtokových vírů (Holata 2002) [2] .....	34
Obr. 20 Monogram ekvivalentních délek armatur .....	39
Obr. 21 Pracovní bod čerpadla .....	40
Obr. 22 Efektivní délka rozběhu vlny .....	41
Obr. 23 Efektivní délka rozběhu vlny hráze č. 1 .....	45
Obr. 24 Efektivní délka rozběhu vlny hráze č. 2.....	46
Obr. 25 Efektivní délka rozběhu vlny hráze č. 3.....	47

## 10 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 N – leté průtoky Podlešínského potoka[16] .....	9
Tab. 2 Stanovení zatopených ploch a zatopených objemů.....	23
Tab. 3 Vydatnosti náhradního blokového deště (podle Ing. J. Trupla) [13] .....	25
Tab. 4 Přepočet vydatnosti náhradního blokového deště .....	25
Tab. 5 Intenzita srážek pro dobu odtoku T.....	28
Tab. 6 Dopočítané průtoky Podlešínského potoka.....	29
Tab. 7 Dopočítané průtoky potrubí spodní výpusti.....	32
Tab. 8 Výpočet vakuometrické výšky.....	37
Tab. 9 Výpočet manometrické výšky.....	38
Tab. 10 Výpočet celkové čerpané výšky.....	39
Tab. 11 Výběh větrové vlny na těleso hráze č.1 .....	45
Tab. 12 Výběh větrové vlny na těleso hráze č.2 .....	46
Tab. 13 Výběh větrové vlny na těleso hráze č.3 .....	47



## 11 PŘÍLOHY

A. 1	PODROBNÁ SITUACE HORNÍ NÁDRŽE	M 1:1000
A. 2	SO 01 PODÉLNÝ ŘEZ INJEKČNÍ CHODBOU	M 1:1000/100
A. 3	SO 01 VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ HRÁZÍ Č.1	M 1:100
A. 4	SO 01 DETAIL KORUNY HRÁZE Č.1	M 1:25
A. 5	SO 01 DETAIL LAVIČKY HRÁZE Č.1	M 1:25
A. 6	SO 02 PODÉLNÝ ŘEZ POTRUBÍM PŘIVADĚČE	M 1:100
A. 7	SO 02 PODÉLNÝ ŘEZ SPODNÍ VÝPUSTÍ	M 1:100
A. 8	SO 02 PŮDORYSNÝ ŘEZ SDRUŽENÉHO OBJEKTU	M 1:100
A. 9	SO 02 PŘÍČNÝ ŘEZ CHODBOU SDRUŽENÉHO OBJEKTU	M 1:50
A. 10	SO 03 PODÉLNÝ ŘEZ INJEKČNÍM BLOČKEM	M 1:1000/100
A. 11	SO 03 VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ HRÁZÍ Č.2	M 1:100
A. 12	SO 03 DETAIL KORUNY HRÁZE Č.2	M 1:25
A. 13	SO 04 GEOLOGICKÝ ŘEZ V MÍSTĚ OSY HRÁZE Č. 3	M 1:1000/100
A. 14	SO 04 VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ HRÁZE Č.3	M 1:100